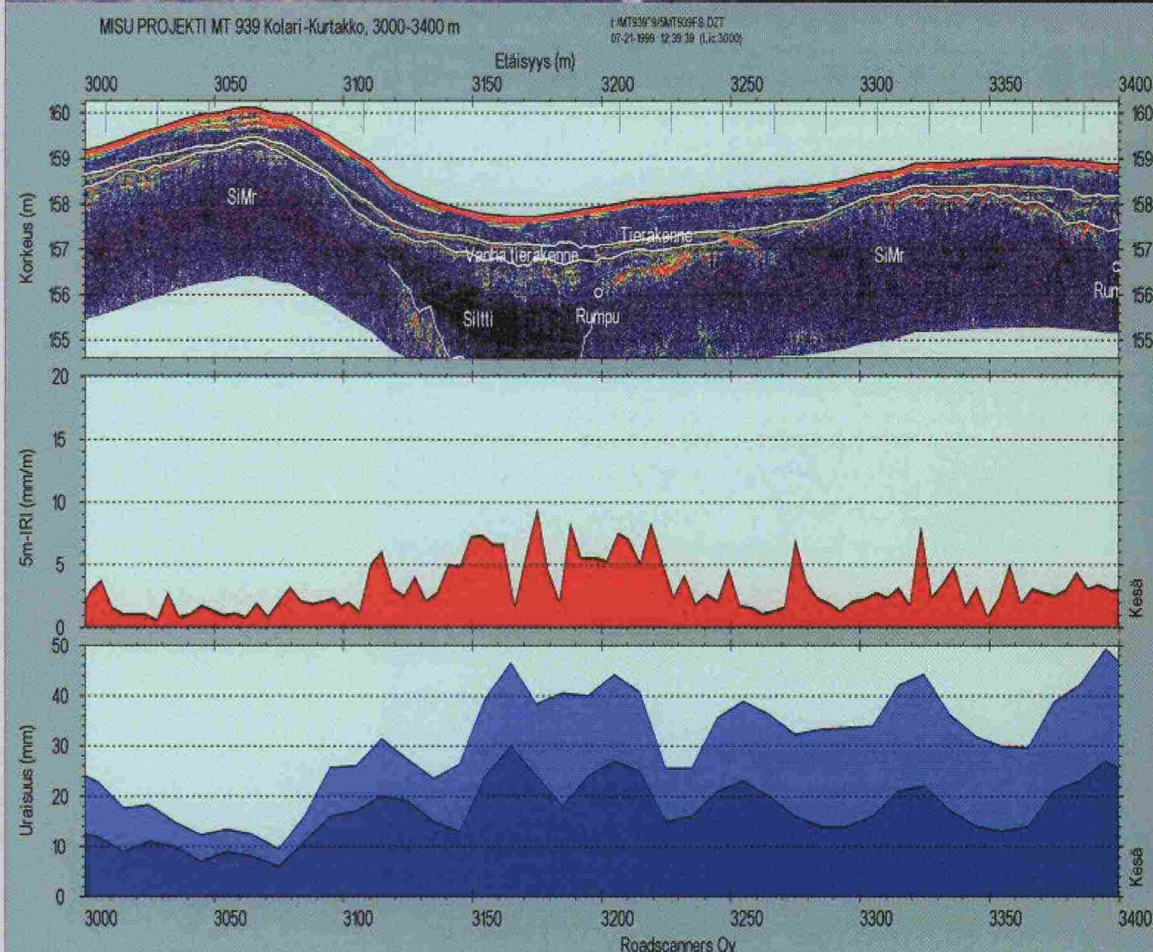


TIEANALYYSI

MISU-projektin loppuraportti



Tielaitoksen
selvityksiä
24/1999

Oulu 1999

Tielaitoksen selvityksiä
24/1999

Timo Saarenketo

TIEANALYYSI
MISU-projektin loppuraportti

Tielaitos
Tuotannon T&K
Roadscanners Oy

Oulu 1999

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-545-X
TIEL 3200569

Edita Oy
Helsinki 1999

Julkaisua myy:
Tielaitos, julkaisumyynti
Puhelin 0204 44 2053
Faksi 0204 44 2652
S-posti elsa.juntunen@tieh.fi



Tielaitos
TUOTANNON T&K
Veteraaninkatu
PL 555
90101 OULU
Puhelinvaihde 0204 44 158

Asiasanat: Maatutka, tieanalyysi, kantavuusmittaus, rakenteen parantaminen, tasaisuusmittaus, suunnitteluprosessi

Aiheluokka: 32

TIIVISTELMÄ

Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa –projektissa eli MISU-projektissa (Mltaus ja SUunnittelu) selvitettiin uusien ja nopeiden tierakenteen ja pohjamaan mittaus- ja tutkimusmenetelmien sekä esitystekniikoiden soveltuvuutta teiden kevyen ja raskaan rakenteen parantamisen suunnitteluun. Menetelmiä testattiin neljässä erilaisessa suunnitteluhankkeessa Lapin, Vaasan ja Uudenmaan tiepiirien alueilla. Testattuja tutkimusmenetelmiä olivat GIS (Geographical Information System), GPS (Global Positioning System), robottitakymetritekniikka, tien videokuvaus, maatutkaluotaus, pudotuspainolaitemittaustekniikka, palvelutasomittaus sekä routasondimittaukset. Lisäksi kuvattiin DC-luotaustekniikan ja kairaus- ja laboratoriomenetelmien käyttöä rakenteen parantamisprojekteissa.

MISU-projektin tulokset osoittivat selkeästi, että maatutkaluotaus 500 MHz:n ja 1,0 GHz:n antennilla täydennettynä PTM-auton tuottamalla 5m-IRI- ja uramittauksilla sekä pudotuspainomittauksilla yhdistettynä ohjatun näytteenoton tuottamiin tuloksiin, tuottaa kattavan aineiston tutkittavan tierakenteen kunnon arvioimiseksi. Rakenteen mitoitukseen tarvittavaa paikkatietoa saadaan sekä GPS- että robottitakymetritekniikalla. Projekti osoitti niinikään, että pohjamaan dielektrisyiden mittaukset soveltuvat hyvin routivuuden analysointiin, jos routanousutietoa ei ole saatavilla. Uusi GIS-teknikka soveltuu hyvin tutkimustulosten paikkaan sidottuun analysointiin ja esittämiseen.

MISU-projektin yhteydessä testattiin ja kuvattiin myös tieanalyysitekniikka, jossa edellä mainittuja toisiaan täydentäviä mittaus- ja tutkimusmenetelmiä hyödynnetään integroidusti ja kunkin menetelmän vahvuudet huomioiden. Tieanalyysissa tie jaetaan tien kunnon ja kestoajan kannalta kriittisiin elementteihin, joita ovat päällyste, sitomattomat päällysrakennekerrokset, pohjamaan routivuudesta aiheutuva tierakenteen routaväsyminen sekä tierakenteen kuivatus. Lisäksi tieanalyysissa kuvataan paikalliset ja korjaamistarpeessa olevat vauriojaksot, kuten painumat ja routaheitot sekä pituushalkeamat ja kaapeli- ja putkikaivantoihin liittyvät vauriot. Tieanalyysi mahdollistaa rakenteen parantamisen täsmäsuunnittelun, jossa tiestä korjataan ainoastaan vaurioituneet kohteet ja uusi päällysrakenne mitoitetaan siten, että tieosien kestoajasta tulee mahdollisimman yhtenevä.

Lisäksi MISU-projekti on tuottanut prosessikuvaukset siitä, miten tilaaja-tuottaja-asetelma toimii erilaisissa parantamishankkeissa ja mitä tutkimusmenetelmiä voidaan hyödyntää kussakin suunnitteluvaiheessa ja eri tutkimuskohteissa ja miten tutkimustulokset kussakin tapauksessa tulisi esittää. Lisäksi MISU-projektissa on kehitetty ohjelmia, joilla tieanalyysitulokset voidaan siirtää automaattisesti erilaisiin suunnittelujärjestelmiin.

Key words: Ground penetrating radar, falling weight deflectometer, roughness and rutting, road analysis, rehabilitation design

ABSTRACT

The main goal of the MISU-project "New methods in road rehabilitation design" sponsored by the Finnish National Road Administration was to evaluate the suitability of the new and fast survey methods for the road structures and subgrade in light and heavy road rehabilitation design projects. The methods were tested in four different projects in the road districts of Lapland, Vaasa and Uusimaa and the methods tested were: GIS (Geographical Information System), GPS (Global Positioning System), Tachymeter method, Video recording, ground penetrating radar (GPR) technique, falling weight deflectometer, roughness and rutting measurements and dielectric value and electrical conductivity measurements using a frost probe. In addition, the use of electrical resistivity surveys, sampling and laboratory analysis was tested in road rehabilitation projects.

The results of the MISU-project clearly shows, that the GPR measurements with 500 MHz and 1.0 GHz antennas together with the results of roughness and rutting measurements FWD data and results of sampling and laboratory analysis give an outright data to evaluate the condition of road structures. The x,y,z position information needed for the dimensioning of a new road structure can be collected using GPS or tachymeter technique. The MISU-project also showed that frost probe technique could be used to evaluate frost susceptibility of the subgrade if frosty heave information is not available. GIS technique has great potential in analyzing and presenting the results of the surveys.

The MISU-project also tested and developed a road analysis technique, where previously mentioned techniques are applied supplementing each other and taking advantage of the strength of each technique. In road analysis road is divided into homogenous sections according to the elements critical to the life cycle of the road. The elements are: pavement and bound layers, unbound pavement structures, frost fatigue caused by freeze-thaw effect in subgrade, and the drainage of the road structures. In addition, road analysis describes and locates local damages which need immediate repair, such as settlements, uneven frost heave sections, and damages related to cable and pipe line excavations. The results of the road analysis enable a precise rehabilitation design for the road, which focuses the repair measures only to the damaged road sections. The renewed road structure can be designed to be as homogenous as possible with respect to its life time.

The MISU-project has also produced descriptions of the process, how to manage and apply the methods in each phase of the road rehabilitation design project and how to present the results of the road analysis. In addition, the MISU-project has sponsored the development of the software which can be used for transferring road analysis data to computer aided road design (CAD) software.

ALKUSANAT

Viime vuosikymmenien aikana, kun Suomen tieverkkoa voimakkaasti rakennettiin, oli keski- ja alempiluokkaisen tieverkon rakenteen parantamisen suunnittelu Tielaitoksen suorittamista suunnittelutoista ehkä kaikkein aliarvostetuinta. Lähtötietojen keräämiseen ei panostettu ja parantamisratkaisut olivat usein "sapluunaratkaisuja", joissa koko tieosa käsiteltiin samalla tekniikalla riippumatta siitä, parantaako vai mahdollisesti huonontaako lopputulos tilannetta.

Tienpidon määrärahojen painopisteen siirtyessä kehittämisestä ylläpitoon ja samanaikaisesti määrärahojen vähetessä on alettu kiinnittää huomiota myös rakenteen parantamisen kehittämiseen ja tehostamiseen. Tässä kehittämistyössä avainasemassa ovat olleet tierakenteen ja pohjamaan uudet mittausmenetelmät ja tutkimustekniikat sekä paikannusmenetelmät ja esitystekniikat, joilla nopeasti saadaan kattava kuva tutkittavasta kohteesta. Tutkimus- ja kehittämistyön on myös mahdollistanut tietotekniikan voimakas kehittyminen, joka mahdollistaa suurien tietomäärien tehokkaan analysoinnin pöytätietokoneella. Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa -projektin eli MISU-projektin tavoitteena on ollut tuottaa tietoa näistä menetelmistä sekä antaa ohjeistusta niiden käytöstä niin, että menetelmiä voitaisiin optimaalisesti hyödyntää rakenteen parantamisen suunnitteluprosessissa.

Tutkimusprojektin kenttäaineisto kerättiin vuosien 1997 - 98 aikana Lapin, Vaasan ja Uudenmaan tiepiirien kohteilta. Samaan aikaan kehitettiin ohjelmistoja, joilla mittausten tulokset ja tutkimustulosten alustavat analyysit voitiin suorittaa. Syksyllä 1998 aloitettiin uusien tieanalyysien pohjalta tehtävien parantamissuunnitelmien laatiminen ja nämä uudentyypiset parantamissuunnitelmat valmistuivat tämän loppuraportin valmistumisen yhteydessä keväällä 1999.

MISU-projektin koordinaattorina on toiminut Seppo Salmenkaita Oulusta. Työryhmän puheenjohtajana on toiminut Timo Saarenketo Roadscanners Oy:stä, joka on vastannut myös projektin loppuraportista. Kari Hietala Ins.tsto Pohjan Suunnittelu Oy:stä vastasi projektin väliraportista ja on toiminut työryhmässä. Pekka Majjala Roadscanners Oy:stä on vastannut ohjelmistojen kehityksestä. Tulosten analysoinnista ovat vastanneet useat henkilöt. Ulla Majjala Roadscanners Oy:stä on tehnyt tulosten tilastollisen analyysin. Projektin työryhmässä ovat tiehallinnon edustajina olleet mukana Kalevi Luiro ja Tapani Lakkala Rovaniemeltä sekä Kalevi Toikkanen Helsingistä. Tielaitoksen konsultoinnin edustajina ovat olleet Kari Narva ja Kari Kärki Rovaniemeltä, Hannu Peltoniemi Vaasasta, Teuvo Kasari Tampereelta ja Esko Koivu Helsingistä, joka on toiminut myös projektin koordinaattorina EasyWay-projektin suhteen.

Rovaniemellä ja Oulussa joulukuussa 1999

Timo Saarenketo
Roadscanners Oy

Seppo Salmenkaita
Tielaitos, Tuotannon T&K

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	11
2	TUTKITUT MENETELMÄT	13
2.1	Yleistä	13
2.2	Testatut mittausmenetelmät	14
2.3	Suoritettut tutkimukset	14
3	TIEANALYYSI	16
3.1	Yleistä, tieanalyysin perusteet	16
3.2	Päällyste	18
3.3	Tien päällysrakenne	19
3.4	Routaväsyminen	22
3.5	Kuivatus	23
3.6	Paikalliset vauriot	24
3.7	Muut huomiot	24
3.8	Tieanalyysin kehittyminen	25
4	TUTKIMUSKOhteet JA -Tulokset	26
4.1	Yleistä	26
4.2	Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi	26
4.2.1	Yleistä	26
4.2.2	Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus	27
4.2.3	Tutkimustulokset	31
4.2.4	Korjaussuunnitelma	37
4.3	Pt 17469 Leppälänkylä, Kuortane	39
4.3.1	Yleistä	39
4.3.2	Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus	39
4.3.3	Tutkimustulokset	41
4.3.4	Korjaussuunnitelma	43
4.4	Mt 939 Kolari - Kurtakko	45
4.4.1	Yleistä	45
4.4.2	Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus	46
4.4.3	Tutkimustulokset	47
4.4.4	Tien korjaussuunnitelma	50
4.5	Mt 1471 Mäntsälä - Oitti, tieosa 5, pl. 0 - 4737	51
4.5.1	Yleistä	51
4.5.2	Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus	52
4.5.3	Tutkimustulokset	52
4.5.4	Tien korjaussuunnitelma	56
4.6	Tieanalyysitulosten vertailua	57
4.7	Pohjamaan routivuusluokittelu ja routamitoitus	59
4.7.1	Yleistä	59

4.7.2 Pohjamaan segregatiopotentiaalin määrittäminen robottitakymetrin ja maatutkatulosten perusteella	60
4.7.3 Routasondimittaukset ja niiden käyttö pohjamaan routivuuden määrittämisessä ja segregatiopotentiaalin laskemisessa	63
5 UUDET MENETELMÄT SUUNNITTELUPROSESSISSA	66
<hr/>	
5.1 Lähtötiedot ja niiden esittäminen	66
5.2 Tien geometrian mittaus ja mittausten paikannus	66
5.3 Pohjamaan laatu ja kalliopinnat	67
5.4 MISU-menetelmät ja routamitoitus	68
5.5 Pohjamaan kantavuus ja geotekniset ongelmat	70
5.6 Tien toiminnallisen kunnon tutkimus	70
5.7 Vanhan tien rakenne ja materiaalit	71
5.8 Mittaus- ja tieanalyysitulosten sekä parantamissuunnitelma- asiakirjojen esittäminen	72
6 YHTEENVETO	73
<hr/>	
7 VIITTEET	75
<hr/>	
8 LIITTEET	77
<hr/>	

1 JOHDANTO

Suomen perustieverkko on käytännössä rakennettu lähes valmiiksi, minkä vuoksi uusien merkittävien tienrakennushankkeiden määrä on laskenut viime vuosina. Tienpidon tulevaisuuden suurimpia haasteita onkin nykyisen tieverkon palvelutason ylläpitäminen ja tarvittaessa parantaminen. Viimeisten vuosien aikana laskusuunnassa olleet tienpidon määrärahat ovat aiheuttaneet kuitenkin sen, että nykyisillä määrärahakehyksillä ja nykyisin käytössä olevilla kunnossapito- ja rakenteen parantamisen tekniikoilla ei etenkään keski- ja alempiluokkaisten teiden palvelutasoa pystytä säilyttämään. Siksi jatkossa on odotettavissa tieverkon nopeutuva rappeutuminen, jos määrärahoja ei saada lisää ja/tai tieverkon ylläpidon strategioita ei muuteta.

Eräs väline kohti resurssitehokkaampaa tieverkon ylläpitoa on uusien ja nopeiden tierakenteen ja pohjamaan mittaustekniikoiden käyttöönotto ja mittaustulosten integroitu analysointi sekä tulosten optimoitu käyttö teiden rakenteen parantamisen suunnittelussa. Tämä mahdollistaa uudenlaisen täsmäsuunnittelun ja täsmäparantamisen, jossa korjaustoimenpiteet suunnataan vain niitä tarvitseville tieosille, käyttöönoton. Tämä puolestaan johtaa resurssien entistä tehokkaampaan ohjautumiseen oikeisiin kohteisiin ja näin kustannussäästöihin tiestön ylläpidossa. Samalla parannettavien teiden palvelutasoa voidaan jopa parantaa.

Suomen tieverkon rakenteesta ja kunnosta sekä pohjamaasta on kerätty ja rekisteröity runsaasti erilaista kunto- ja rakennetietoa, jota voidaan hyödyntää rakenteen parantamisen suunnittelussa. Lisäksi markkinoille on tullut viime vuosien aikana uusia mittaustekniikoita, kuten GPS- ja rabottitakymetrimittaus sekä maatutkatekniikka, joita voidaan käyttää ja onkin jo käytetty parantamisen suunnittelussa. Ongelmana on kuitenkin ollut se, että mittausten menetelmien soveltuvuutta ei ole tarpeeksi tunnettu. Lisäksi tieltä kerätyt tiedot ovat olleet hajallaan eri lähteissä eikä suunnitteluhankkeiden tilaajilla ja suunnittelijoilla ole ollut riittävää tietoa eri menetelmien ominaisuuksista ja rajoituksista eikä selkeitä ohjeita siitä, mitä ao. mittauksilta ja tutkimuksilta tulisi vaatia. MISU-projektin eli Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa -projektin tavoitteena oli testata eri menetelmien soveltuvuutta rakenteen parantamisen suunnitteluun sekä kuvata niiden käyttöä suunnitteluprosessissa.

2 TUTKITUT MENETELMÄT

2.1 Yleistä

Tie- ja päällystesuunnittelussa tarvittavat tiedot ja tekniikat voidaan jakaa karkeasti seuraaviin luokkiin: a) lähtötiedot, b) paikkatiedot, c) tiedot pohjamaasta ja d) tiedot tierakenteista.

Lähtötietoja voidaan hankkia ja käsitellä ilman, että kentältä oltaisiin kerätty mittaustuloksia. Lähtötietoja ovat mm. karttatiedot sekä tiestöstä erilaisiin rekistereihin kerätyt tiedot.

Paikkatietoihin kuuluvat tiedot tien sijainnista, poikkileikkauksista, geometriasta, maanomistusoloista sekä tiessä olevista laitteista ja varusteista.

Tietoja pohjamaasta ja tierakenteista tarvitaan tien kantavuusmitoitukseen, routamitoitukseen sekä tarvittaessa tien geotekniseen suunnitteluun.

MISU-projektissa testattujen tutkimusmenetelmien käyttötarkoitus voidaan luokitella *taulukossa 1* esitetyllä tavalla.

Taulukko 1. Tutkittujen MISU-menetelmien soveltuvuus erilaisten suunnittelutietojen keruuseen ja analysointiin.

Menetelmä	Lähtötiedot	Paikkatiedot	Pohjamaa	Tierakenteet
GIS				
GPS				
Robottitakymetri				
Video				
Maatutka				
Pudotuspainolaite				
Palvelutasomittaus				
DC-luotaus				
Routasondi				
Kairaus ja labor.				



soveltuu

2.2 Testatut mittausmenetelmät

MISU-projektissa tutkittaviksi menetelmiksi valittiin seuraavat tutkimusmenetelmät:

- GIS-järjestelmä (Geographical Information System) on karttapohjainen paikkatietojärjestelmä, jonka avulla voidaan analysoida ja esittää paikkatietoon (x,y,z) sidottua laatu- ja määrätietoa.
- GPS-mittaus (Global Positioning System) on paikannusjärjestelmä, joka perustuu maapalloa kiertäviin satelliitteihin, joiden kiertorata avaruuskoordinaatistossa tunnetaan.
- Robottitakymetri on liikkuvaa prismaa automaattisesti seuraava paikannuslaite, jolla voidaan mitata tien pinnan koordinaatit (x,y,z) nopeasti alueelta, missä takymetrilla on näköyhteys autoon sijoitettuun prismaan.
- Videokuvaus, jonka avulla kuvataan tutkittava tie siten, että videokuvalle tallentuu myös paikkatiedot. Videotietoa käytetään etenkin tieanalyysin yhteydessä.
- Maatutkamittaus, jonka avulla voidaan läpivalaista tutkittavat tierakenteet, mitata niiden paksuudet ja paikantaa vauriot sekä kerätä tietoa pohjamaasta. Maatutka tuottaa tietoa myös tierakenteiden ja pohjamaan materiaaliominaisuuksista.
- Pudotuspainolaite on dynaaminen kantavuusmittauslaite, jolla määritetään tien pinnan kimmoinen taipuma. Laitteen tulostamien taipumasuppiloiden avulla voidaan arvioida eri tierakennekerrosten kuntoa.
- Palvelutasomittausauto, jonka avulla mitataan tietoa tien pituus- (IRI) ja poikkisuuntaisesta tasaisuudesta (URA).
- DC-luotaus (maavastusluotaus) on pohjamaan sähköinen tutkimusmenetelmä, jolla voidaan erotella maaperässä olevia sähkönjohtavuudeltaan poikkeavia kerroksia ja luokitella ne referenssitiedon perusteella maalajeihin.
- Routasondimittaus, jolla voidaan määrittää pohjamaan dielektrisyys- ja sähkönjohtokyky, jotka antavat tietoa pohjamaan maalajeista, niiden kosteusolosuhteista, routivuudesta sekä stabiilisuudesta.
- Näytteenotto- ja laboratoriotutkimukset, jotka antavat tarvittavan referenssitiedon tierakenteiden ja pohjamaan kerroksien paksuudesta. Näytteistä tehdyt laboratoriotutkimukset tuottavat kantavuus-, routa- sekä geotekniseen mitoittamiseen tarvittavat parametrit. Laboratoriotutkimuksia tarvitaan myös uusien rakenteiden mitoituksessa.

2.3 Suoritetut tutkimukset

MISU-projektin tutkimusten aluksi kuvattiin eri tutkimusmenetelmät ja ne tien suunnitteluprosessit, joissa menetelmiä tulisi käyttää (*Tielaitoksen selvityksiä 23/1999*). Lisäksi raportissa kuvattiin eri menetelmien tekniset ominaisuudet ja arviot työtehoista.

Varsinaista MISU-tekniikkaa kokeiltiin neljällä suunnitteluhankkeella Lapin, Vaasan ja Uudenmaan (myöhemmin Hämeen) tiepiireissä. Kaikissa näissä hankkeissa käytettiin MISU-konseptia, johon kuuluvat palvelutasomittaukset, maatulokaluotaukset, videokuvaus, PP-laitemittaukset sekä näytteenotto ja laboratorioanalyysit. Muita testattuja menetelmiä olivat mm. robottitaky-metrimittaukset ja routasondimittaukset. MISU-projektin suunnitteluvaiheessa hyödynnettiin myös Vaasan ja Uudenmaan piirin kohteissa tehtyjä GPS-mittauksia. Tutkimustulosten analysoinnissa sovellettiin myös GIS-tekniikkaa.

3 TIEANALYYSI

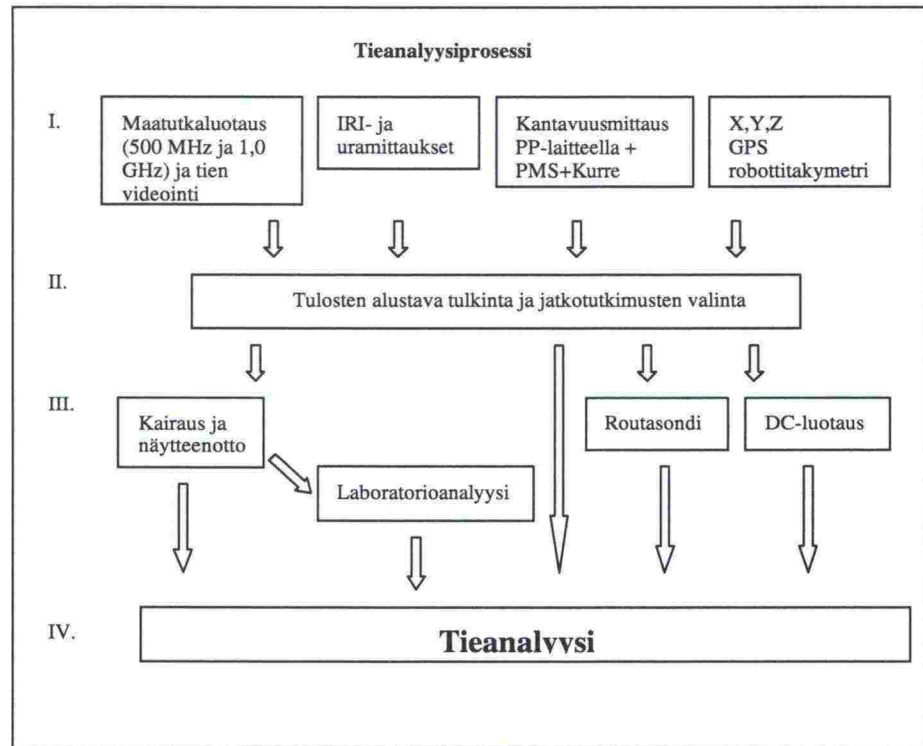
3.1 Yleistä, tieanalyysin perusteet

Idea useita teiden mittaustuloksia yhdistävästä tieanalyysistä on varsin vanha. Ensimmäisen kerran tekniikkaa sovellettiin Mikkelin tiepiirissä vt 5:n tutkimuksissa 1990-luvun alussa. Kuitenkin vasta tietotekniikan nopea kehittyminen mahdollisti suurien mittaustulosmäärien yhtäaikaisen ja interaktiivisen analysoinnin. Tässä raportissa esitettävä tieanalyysimenetelmä kehitettiin vasta MISU-projektin ideoimana ja MISU-projektin Lapin tiepiirin tutkimuskohteiden mittaustulosten sekä eräiden Roadscanners Oy:n Ruotsin projektien tutkimustulosten pohjalta 1997 - 1998.

Tieanalyysissa analysoidaan tien kunnon ja kestoiän kannalta kriittiset elementit: päällyste ja sidottu kantava kerros, sitomattomat päällysrakennekerrokset, pohjamaa sekä tien ja pohjamaan kosteusolosuhteet. Elementit voidaan analysoida ja luokitella koko tutkittavan tien matkalla. Näihin elementteihin ja edelleen tien kestoikään vaikuttavat puolestaan ympäristötekijät, joista tärkeimpiä ovat liikennemäärä, etenkin raskaan liikenteen osuus, sekä routa. Tieanalyysissa analysoidaan lisäksi paikalliset vauriot, kuten geoteknisistä tekijöistä aiheutuvat painumat, epätasaisesta routanoususta aiheutuvat routaheitot ja pituushalkeamat sekä rumpu-, putki- ja kaapelikaivantoihin liittyvät vauriot.

Tieanalyysin perusteella tutkittava tie jaetaan tutkittavien elementtien osalta homogeenisiin jaksoihin. Eri elementtien kuntoluokituksen perusteella voidaan päätellä tien kunnon ja kestoiän kannalta kriittiset tekijät ja arvioida korjaustarve, korjauskohteet ja niihin tarvittavat toimenpiteet sekä korjauskustannukset. Lisäksi tuloksena saadaan rakenteiden paksuustiedot ja tarvittavat parametrit päällysrakenteen mitoittamiseen ja routamitoittamiseen. Jatkossa etenkin raskailla parantamishankkeilla tulisi tieanalyysiin liittää myös tiedot tien geometrian puutteista.

Tieanalyysin prosessikaavio on esitetty *kuvassa 1*. Luotettavan tieanalyysin tekemiseen päällystetyllä tieverkolla tarvitaan ainakin a) maatutkamittaukset 400 - 500 MHz:n maavasteantennilla sekä 1,0 GHz:n kartiotorvi-antennilla, b) tien videointi, c) kantavuusmittaukset pudotuspainolaitteella sekä d) IRI- ja uramittaukset palvelutasomittausautolla. Soratiestöllä palvelutasomittauksia ei välttämättä tarvita. Päällystesuunnitteluhankkeissa riittää useimmiten, että mittaukset suoritetaan siltä kaistalta, jossa on enemmän raskasta liikennettä, mutta tiesuunnitteluhankkeissa on suositeltavaa, että ainakin maatutkamittaukset 500 MHz:n antennilla tehdään molemmilta kaistoilta tierakenteen ja pohjamaan kolmiulotteisen kuvan saavuttamiseksi. Muita kerättäviä tieanalyysin lähtötietoja ovat olemassa olevan tiedon analysointi PMS- (Pavement Management System) ja KURRE-tietokannoista.



Kuva 1. Tieanalyysiprosessin kuvaus

Ensimmäisen tiedonkeruuvaiheen jälkeen tutkimustulosten alustavassa analysoinnissa päätetään tarvittavat jatkotoimenpiteet, joita tulisi olla ainakin referenssikairaukset ja näytteenotto sekä näytteistä tehtävät laboratorioanalyysit. Lisäksi, jos tiessä on routivia kohteita eikä routavaaituksia ole mahdollista suorittaa, tulisi tiestä tehdä routasondimittaukset pohjamaan routivuuden arvioimiseksi ja routamitoituksen pohjaksi sekä suunnitteluhankkeissa pehmeikkökohteissa vastusluotaukset painumalaskelmien lähdekohdaksi.

Varsinainen tieanalyysi tehdään neljännessä vaiheessa, jolloin kaikki mitaus- ja tutkimustulokset ovat käytettävissä. Tieanalyysia tehtäessä tulkitsejan tulee arvioida tie kokonaisuutena, johon vaikuttavat tutkittujen elementtien lisäksi ympäristötekijät ja myös tien korjaushistoria. Esimerkiksi hiljattain paikatulla tieosilla tulee IRI- ja uramittausten painoarvoa huomattavasti pienentää verrattuna maatutka- ja pudotuspainomittauksien tuloksiin. Tieanalyysin kriteerit kunkin elementin osalta on esitetty luvuissa 3.2 - 3.5. Tieanalyysista saatavat tulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tieanalyysistä saatavat tiedot ja muita esitettäviä tietoja

Elementti	Luokitus	Muut esitettävät tiedot
Päällyste	0 - 3	<ul style="list-style-type: none"> päällysteen paksuus (mm) vähintään 5 m:n välein päällysteen sisäiset vauriot päällysteen moduuli
Sitomaton päällysrakenne	0 - 3	<ul style="list-style-type: none"> kantavan kerroksen paksuus (mm) rakennekerrosten kokonaispaksuus kantavan kerroksen moduuli muiden rakennekerrosten moduulit laboratoriotulokset
Pohjamaa ja pohjamaasta johtuva routa- väsyminen	0 - 3	<ul style="list-style-type: none"> pohjamaan laatu pohjamaan moduuli pohjamaan routivuus (dielektrisyys ja/tai segregaatiopotentiaali) turpeen paksuus (tutka) siltti- ja savikerrosten paksuus (tutka, DC-luotaus) kalliopinnan syvyys
Kuivatus	1 - 3	<ul style="list-style-type: none"> päällysteen sivukaltevuus erilliset havainnot kuivatukseen vaikuttavista erityispiirteistä (esim. sivukalteva rinne)
Paikalliset vauriot	0/1 on/ei	<ul style="list-style-type: none"> painumat siirtymäkiilavauriot rumpu-, putki- yms. vauriot pituushalkemat
Muut havainnot		<ul style="list-style-type: none"> havainnot paikallisten vaurioiden syistä havainnot suunnitteluun vaikuttavista muista tekijöistä (esim. jyrkät sisäluiskat yms.)
Tien vaakageometria (km/h)	60, 80, 100, 120	<ul style="list-style-type: none"> vaakageometrian puutteet eri mitoitusnopeuksilla
Tien pystygeometria (km/h)	60, 80, 100,120	<ul style="list-style-type: none"> pystygeometrian puutteet eri mitoitusnopeuksilla

3.2 Päällyste

Tien päällysteen kunnon analysoinnissa käytetään pääasiassa tien videokuvaa ja PTM-auton mittaustuloksia, mutta tärkeää tietoa saadaan maastutkan 1,0 GHz:n kartiotorviantennin dielektrisyysmittaustuloksista sekä PP-laitteen taipumatiedoista. Jos päällysteessä on useampia kerroksia, tulee erityistä huomiota osoittaa mahdollisiin rajapintaheijasteisiin, jotka osoittavat strip-

ping-ilmion eli sisäisen purkautumisen tai päällysteen delaminaation eli päällystekerrosten välisen liimaantumisen irtoamisen. Näiden ilmiöiden esiintymistä voidaan arvioida myös pudotuspainolaitteen lähitaipumatiedon avulla ja ne tulee varmistaa poranäytteiden avulla (Taulukko 3).

Taulukko 3. Päällysteen luokittelu tieanalyysissa

Luokka	Kunto ja toimenpiteet
0	Päällyste on tasainen ($IRI < 3$) eikä siinä ole havaittavissa näkyviä vaurioita eikä päällysrakenteen deformatumisesta tai nastarengaskulutuksesta aiheutuvaa urautumista (harjanneura < 10 mm). <i>Päällyste ei vaadi kunnostustoimenpiteitä.</i>
1	Päällysteessä on pientä pituussuuntaista epätasaisuutta ($IRI 3 - 4$), urautuminen on < 15 mm. Päällysteessä on paikoin pituus- ja poikkihalkeamia, jotka kuitenkin on korjattu. Dielektrisyysarvo on normaali ($5 - 6,5$). <i>Päällyste ei yleensä vaadi välitöntä korjausta, päällysteen uusimisen yhteydessä riittää todennäköisesti tasausmassa tai paksuimmilla päällysteillä tasausjyrsintä ja uusi päällyste.</i>
2	Päällysteessä havaitaan urautumista (> 15 mm) ja alkavaa verkkohalkeilua, myös pituussuuntainen epätasaisuus on noussut ($IRI > 4$). Sivukaltevuudessa esiintyy puutteita. Päällysteen dielektrisyysarvo voi olla selvästi kohonnut (> 8). Päällysteen keskellä tai pohjassa voi olla alkavaa stripping-ilmiotä ohuina kerroksina. <i>Tien kunto on nopeasti heikkenemässä ja päällyste vaatii yleensä jonkinasteisen korjauksen.</i>
3	Päällyste on pahoin vaurioitunut ja sitä on jouduttu paikkaamaan, siinä esiintyy verkkohalkeamia ja purkautumia. Päällyste on pahoin urautunut (> 30 mm), IRI -arvo on > 5 ja päällysteen sivukaltevuudet ovat puutteelliset. Päällysteen dielektrisyys on korkea (> 8) tai sitten se on halkeilun myötä pudonnut (< 5). Päällysteessä voi esiintyä vakavaa stripping-ilmiotä. Rappeutuminen voi näkyä myös PP-tulosten suurena D0-taipuma-arvona. <i>Tie vaatii päällysteen uusimisen ja useimmiten myös muun tierakenteen vahvistamisen (ks. myös routaväsyminen ja päällysrakennekerrokset).</i>

3.3 Tien päällysrakenne

Tien päällysrakenteen analysointi perustuu pääosin maatutkamittauksiin ja pudotuspainolaitemittaustuloksiin, mutta myös PTM-auton mittaustuloksia hyödynnetään. Maatutkatulosten analysoinnissa kiinnitetään huomiota kerrospaksuuksiin, kantavan kerroksen dielektrisyysarvoon (jos se voidaan

luotettavasti määrittää), rajapintaheijasteiden polariteettiin, mutta myös rajapintaheijasteiden jatkuvuuteen.

Pudotuspainolaitetuloksissa kiinnitetään huomiota etenkin SCI-arvoon (Surface Curvature Index), jota käytettäessä tulee huomioida päällysteen paksuus. Tieanalyysissä käytettäviä SCI-rajaa-arvoja määritettäessä analysoitiin sekä MISU-kohteiden että Roadscanners Oy:n Ruotsin projektien tuloksia, joiden pohjalta päädyttiin seuraaviin raja-arvoihin (*Taulukko 4*):

Taulukko 4. Tieanalyysissä käytettävät SCI-rajat

SCI-arvo	Kuntoarvio
< 100	hyvä (< 120)
100 - 150	tydyttävä (120 - 150)
150 - 250	heikko
> 250	erittäin heikko

MISU-projektin jatkoanalysointi kuitenkin osoitti, että SCI-arvo 100 hyvän päällysteen rajana on todennäköisesti liian vaativa ja jatkossa olisi harkittava hyvän rajan nostamista arvoon 120. Edellä esitettyihin raja-arvoihin on päädytty Vaasan tiepiirin tiestöltä tehdyissä pudotuspainolaitetulosten analyysissä (*Kasari 1998, suullinen tiedonanto*). Joissakin kohteissa sitomat-
tomien materiaalien korkeiden suction-ominaisuuksien vuoksi SCI-arvot voivat olla suhteellisen pieniä, jos mittaukset on suoritettu kesällä kuivana aikana (*Saarenketo et al. 1998*). Tällöin luokittelu on perustettava enemmän dielektrisyysarvoon, tien urautumisnopeuteen sekä laboratoriotutkimustuloksiin. On muistettava, että jos SCI-arvo on huono, tie on huono, mutta jos SCI-arvo on hyvä, päällysrakenteen kunto voi olla hyvä tai huono. (*Taulukko 5*)

Taulukko 5. Päälysrakennekerrosten luokituskriteerit tieanalyyssissa

Luokka	Tien kunto ja toimenpiteet
0	<p>Maatutkaluotaustuloksissa tien päälysrakennekerrosten heijasteet ovat jatkuvia ja tasaisia. Kantavan kerroksen pinnan dielektrisyysarvot ovat < 9 (mittauksen onnistumisen edellytys on, että päällysteen paksuus on yli 60 mm). Rakennekerroksissa ei ole huonolaatuisia ja vettä sitovia materiaaleja. 5m-IRI- ja ura-arvot ovat alhaiset ja pudotuspainolaitteen SCI-arvot (D0 - D200) ovat < 100 (päällystepaksuus < 70 mm).</p> <p><i>Tiehen ei tarvita korjaustoimenpiteitä, jos raskaan liikenteen määrä ei ole nousussa ja rakenteiden paksuus on suhteellisen pieni.</i></p>
1	<p>Maatutkaluotauksissa näkyvien päälysrakenteiden rajapinnat ovat selkeitä, mutta rakennekerrokset taipuilevat, mikä saattaa jatkossa aiheuttaa poikkihalkeamien kasvua. Kantavan kerroksen pinnan dielektrisyysarvot saattavat olla hieman korkeat (9 - 12), mikä on merkki päällysteen alaosan alkavasta väsymisestä. Tiessä on jonkin verran poikkihalkeamia. 5m-IRI -arvot ovat alhaiset ja ura-arvot ovat < 15 mm, PP-mittaustulosten SCI-arvo on < 150 (päällystepaksuus < 70 mm).</p> <p><i>Tie ei vaadi välitöntä korjausta, jos kerrokset ovat riittävän paksuja. Jos kyseessä on uusi tie (< 5 v.), vauriokehitys voi olla nopeaa ja tällöin suositellaan stabilointia.</i></p>
2	<p>Maatutkaluotaustulosten päälysrakenteiden rajapinnat ovat osittain epäselviä ja paikoin taipuilevia, epäjatkuvuuskohdat osoittavat etenevää halkeilua, voimakkaat heijasteet osoittavat, että tierakenteissa on runsaasti vettä sitovia materiaaleja. Kantavan kerroksen dielektrisyysarvo voi olla korkea (> 12), mikä merkitsee normaalia heikompaa kevätkantavuutta. Tiessä on urautumista ja verkkohalkeamia, myös poikkihalkeamia esiintyy runsaasti. Tien 5m-IRI -arvo ja uraisuus ovat nousseet, ura-arvot ovat yli 15 mm. PP-mittausten SCI-arvo on > 150.</p> <p><i>Tie vaatii useimmiten jonkinasteisen korjauksen ja stabiloinnin tai kantavuuden parantamisen kerrospaksuutta kasvattamalla.</i></p>
3	<p>Maatutkaluotaustuloksissa näkyvien päälysrakenteiden rajapinnat ovat täysin sekoittuneet (ks. myös routaväsyminen) ja kantava kerros sitoo runsaasti vettä ja on erittäin routivaa. Kantavan kerroksen pinnan dielektrisyysarvo voi olla erittäin korkea (> 14). Tie on huonossa kunnossa, päällysteessä on verkkohalkeamia ja purkautumia. Tien IRI-arvot ovat selvästi nousseet ja ura-arvot ovat > 30 mm. PP-mittausten SCI on > 250.</p> <p><i>Tierakenteet vaativat perusteellisen korjauksen.</i></p>

3.4 Routaväsyminen

Routaväsymisessä arvioidaan, kuinka paljon tierakenteen väsyminen ja vaurioituminen johtuu tien alla pohjamaassa tapahtuvista jäätymis-sulamisprosesseista. Routaväsymisen kannalta kriittinen tarkasteltava kohde sijoittuu tierakenteen ja pohjamaan rajapintaan, jossa keväällä tapahtuvat muodonmuutokset heijastuvat koko tierakenteeseen.

Routaväsymisen luokittelussa kiinnitetään erityistä huomiota toisaalta maatutkatuloksiin ja toisaalta IRI- ja uramittaustuloksiin (*Taulukko 6*). Maatutkatuloksissa routaväsyminen näkyy etenkin päällysrakenteen rajapintaheijasteiden sekoittumisena. Routaväsymisen edetessä sekoittuminen etenee alhaalta ylöspäin ja sekoittumisen yltäessä kantavaan kerroksen asti tierakenteen poikkeuksetta pettänyt täysin. Erittäin hyvän kuvan routaväsymisestä antaa myös IRI- ja ura-arvojen vertailu. Routaväsymisen erottaa päällysrakenteen väsymisestä siitä, että routaväsymisen yhteydessä nousevat sekä IRI- että ura-arvot, kun päällysrakenteen väsyminen näkyy vain kohonneina ura-arvoina. Routaväsymisen analysoinnissa tarkasteltavan ura-arvon tulee olla ns. reunapallearvo eikä keskiarvoura, joka ei useinkaan paljasta routaväsymistä. Muita routaväsymisen indikaattoreita ovat pituushalkeamat ja reunauran verkkohalkeamat. Pudotuspainolaitetulosten BCI-arvot ovat routivilla tiekohteilla yleensä suuremmat.

Tien routaväsymistä voidaan arvioida myös pohjamaan laadun perusteella. Tietoa pohjamaan laadusta saadaan maaperäkartoista, maatutkatuloksista sekä routasondimittauksista. Lisäksi videon perusteella voidaan arvioida, missä pohjamaa on routimatonta soraa tai hiekkaa.

Taulukko 6. Routaväsymisen luokittelukriteerit tieanalyysissa

Luokka	Tien kunto
0	Tiessä ei ole havaittavissa pohjamaasta johtuvaa routaväsymistä, tierakenteet ovat paksut tai pohjamaa on routimatonta soraa, hiekkaa tai kalliota. Maatutkaprofiilissa näkyvä tien ja pohjamaan rajapinta on selkeä ja 5m-IRI -arvot ovat alhaiset (< 3), yksittäisiä korkeampia arvoja saattaa esiintyä. Jos tiessä esiintyy urautumista, se ei johdu pohjamaan routaväsymisestä.
1	Tiessä on havaittavissa pientä tai alkavaa routaväsymistä, joka ei kuitenkaan ole vakavaa eikä edellytä korjaamistoimenpiteitä, jos kyseessä ei ole uusi tie. Maatutkaprofiilissa tien ja pohjamaan rajapinnat ovat selkeitä, mutta voivat olla hieman taipuneita. 5m-IRI -arvot ovat hieman nousseet ja osa uraisuudesta voi johtua roudan sulamispehmenemisen aikaisesta deformaatiosta. Paikallisia lyhyitä pituushalkeamia saattaa esiintyä.
2	Tiessä on havaittavissa selkeät routaväsymisen oireet, jotka tulisi korjata lähiaikoina ennen kuin tien kunto romahtaa lopullisesti. Maatutkaprofiilissa tien ja pohjamaan rajapinnat ovat sekoittuneet, mutta ovat vielä paikoin erotettavissa. 5m-IRI -arvot ovat kohonneet selvästi ollen keskimäärin 3 - 5, yksittäiset arvot voivat olla yli 8. Tierakenteiden ja pohjamaan rajapinnan roudan sulamispehmenemisestä johtuva tien deformaatio ja urautuminen on selkeää ja uraisuus on yli 15 mm.
3	Tie on vaurioitunut erittäin pahasti pohjamaan routimisesta johtuen ja vaurion korjaaminen edellyttää useimmiten rakenteen uusimisen, jos tien tasausta ei voida nostaa ja kuivatusta parantaa. Maatutkaprofiilissa pohjamaan ja rakennekerrosten rajapinnat ovat sekoittuneet ja 5m-IRI -arvot ovat keskimäärin 5 - 7, kun yksittäiset arvot voivat olla jopa yli 15. Deformaatiosta johtuen tierakenne on pahasti urautunut ja uraisuus on yleensä yli 20 mm. Päälysteessä on paikoin purkautumia ja reikiä.

3.5 Kuivatus

Tieanalyysissa arvioidaan kuivatuksen toimivuus samoilla perusteilla kuin Tielaitoksen kuivatusluokittelussa, **mutta jako on käänteinen** (Taulukko 7). Lisäksi kuivatuksen arvioinnissa tulee käyttää sivukaltevuuden mittaustuloksia, mikäli ne ovat saatavilla.

Taulukko 7. Kuivatuksen luokituskriteerit tieanalyysissa

Luokka	Kunto
1	<ul style="list-style-type: none"> • tien poikkileikkaus on säilyttänyt muotonsa hyvin • veden valuminen ajoradalta ojaan on esteetön • veden virtaus sivuojaan/sivuojassa on esteetön • kuivatus toimii moitteettomasti
2	<ul style="list-style-type: none"> • tien poikkileikkauksessa on pieniä muodonmuutoksia • reunassa on vähäistä maapallemuodostumaa, joka estää veden valumista ojaan • kasvillisuus sivuojassa hidastaa veden virtausta ja aiheuttaa patoutumia
3	<ul style="list-style-type: none"> • poikkileikkauksessa on kohteittaisia muodonmuutoksia • pientareen ja sisäluiskan taitteissa on palle, joka aiheuttaa veden lammikoitumista ajoradalle/pientareelle • kasvillisuus estää veden virtausta • kuivatus ei toimi

3.6 Paikalliset vauriot

Paikallisiin vaurioihin luokitellaan ne paikalliset eri syistä syntyneet vauriot, jotka tieanalyysin tekijän mielestä ainakin tulisi korjata. Paikallisia vaurioita voivat olla seuraavat vauriotyypit:

- painumat, reunapainumat
- siirtymäkiilavauriot / kallio
- siirtymäkiilavauriot / rumpu
- siirtymäkiilavauriot / maalajin muutos
- routaheitto / sivukalteva rinne
- routaheitto / kaapeli- ja putkikaivanto
- pituushalkeamat
- tien läpi tulevat lohkat

Paikalliset vauriot luokitellaan vain kahteen luokkaan ja ne merkitään tieanalyysipalkistoon 0/1-koodilla. Luokka 0 tarkoittaa ei-korjattavia vaurioita ja luokka 1 tarkoittaa vaurioita, jotka tulisi korjata. Vaurion syy merkitään muut huomiot -kenttään tai se kirjataan suoraan tulkintakommenttina tutkaprofiiliin. Jos tiessä esiintyy esimerkiksi pituushalkeamaa, mutta sen korjaamiseksi ei tulkitsijan mielestä tarvita erityistoimenpiteitä, se merkitään vain muut huomiot -kenttään.

3.7 Muut huomiot

Tieanalyysipalkistojen alla on varattu tilaa myös havainnoille, joita ei ole voitu esittää vakioanalyysien yhteydessä, mutta jotka ovat tärkeitä parantamistoimenpiteiden suunnittelussa. Tällaisia havaintoja ovat mm. havainnot tien alla olevasta turpeesta, tien pituushalkeamista ja niiden vaikeusas-

teesta sekä havainnot tien läpi nousevista lohkarista. Myös videolta tehdyt yksittäiset havainnot voidaan kirjata tähän kenttään, esimerkkinä tutkasignaalin voimakas vaimentuminen, joka johtuu runsaasta suolankäytöstä. Havaintokenttään voidaan myös kirjata tiedot yksittäisten vaurioiden syistä. Havaintokenttään tulee merkitä myös tiessä esiintyvät erikoisrakenteet, kuten teräsverkot.

3.8 Tieanalyysin kehittyminen

Tässä nyt esitetty tieanalyysimenettely ja siihen liittyvät luokitukset muodostavat ensimmäisen julkistetun version tieanalyysista. Myöhemmin kokemuksen, tiedon ja ymmärryksen lisääntyessä luokitteluperusteita tarkennetaan ja luokkarajoja mahdollisesti tarkistetaan.

4 TUTKIMUSKOhteet JA -TULOKSET

4.1 Yleistä

Uusia mittausmenetelmiä ja niiden tulosten integroitua analyysia eli tie-analyysia testattiin neljällä erityyppisellä suunnitteluhankkeella, joista kaksi sijaitsi Lapin tiepiirin alueella, yksi Vaasan ja yksi Uudenmaan tiepiirin alueella. Hankkeista Lapin mt 930 Mellakoski - Mellajärvi edusti päällystysohjelman yhteydessä toteutettavaa keveintä rakenteen parantamisvaihtoehtoa ja Lapin mt 939 Kolari - Kurtakko järeintä rakenteen parantamishanketta, jossa toisena vaihtoehtona oli tien rakentaminen uudelleen. Uudenmaan tiepiirin hanke mt 1471 Mäntsälä - Oitti ja Vaasan tiepiirin hanke pt 17469 Leppälänkylä Kuortaneella edustivat Lapin hankkeiden välistä suunnittelukäytäntöä, jossa tarvittaessa tien geometriaan voitiin tehdä pieniä muutoksia.

Seuraavassa on esitetty erikseen tutkimuskohteet, kohteella käytetyt tutkimusmenetelmät, mittaustulokset, niiden tilastollisten analyysien tulokset ja tutkimustulosten keskeisimmät johtopäätökset. Lisäksi esitellään tulokset mt 939 Kolari - Kurtakko -hankkeella tehdystä erillistutkimuksesta, jonka tavoitteena oli selvittää, miten routasondi soveltuu pohjamaan routaolosuhteiden määrittämiseen ja miten segregatiopotentiaali eli routanousukerroin voidaan määrittää MISU-tekniikalla. Kaikille tutkituille aineistoille on tehty myös tilastolliset tarkastelut FM Ulla Maijalan toimesta ja ne on esitetty *liitteessä 1*.

MISU-aineiston tilastollisia analyyseja tarkasteltaessa tulee muistaa, että tieanalyyseissa ei vertailla samasta pisteestä mitattuja absoluuttisia arvoja vaan tietyn kohteen ympäristöstä saatuja tuloksia. Esimerkiksi tieanalyyseissa ei tieanalyyssiluokkaa muuteta yhden poikkeavan mittaustuloksen takia, vaan siinä pyritään löytämään suhteellisen homogeenisiä tieosia ja siksi hajontakuvioiden esiintyminen joka luokassa poikkeavia arvoja. Mediaaniarvot kuvaavat jakauman painopistealueita ja niitä voidaan käyttää muuttujien vertailussa ja niistä voidaan vetää varsin luotettavia johtopäätöksiä.

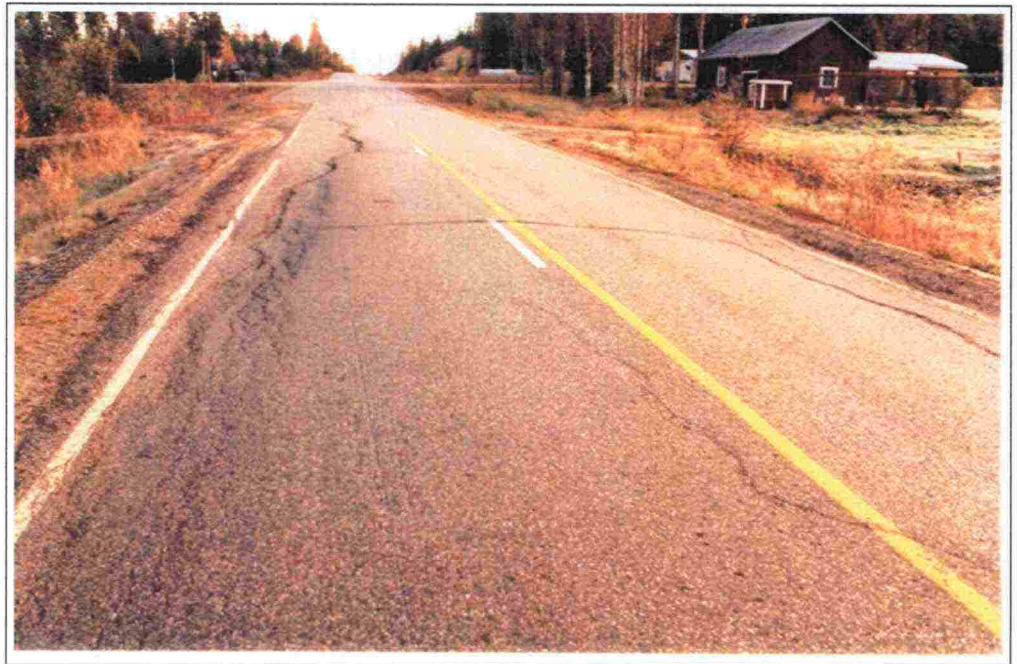
4.2 Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi

4.2.1 Yleistä

Maantie 930 Mellakoski - Mellajärvi on rakennettu 1950-luvulla soratieksi ja päällystetty 1960-luvun alussa. Tie oli kuitenkin kantavuudeltaan heikko, routavaurioita ja painumia esiintyi useissa kohdissa, mistä syystä tielle laadittiin v. 1973 hyväksytty ja 1975 - 1981 toteutettu parantamissuunnitelma. Parannetun tien poikkileikkaus oli IIN-7, ajorata 6,5 m, pientareet 2 * 0,25 m sekä päällysrakenne P-5ÖS. Samalla parannettiin myös tien geometriaa.

Vaikkakin parantamisen yhteydessä tien rakennekerroksia vahvistettiin merkittävästi, on tien routakestävyys ja paikoin myös kantavuus jäänyt huo-

noksi ja tästä syystä tietä on viimeisen päällystysvuoden jälkeen jouduttu paikkaamaan useista kohteista. Tien suurimpana ongelmana on tien reunan deformaatio (Kuva 2), joka estää veden virtauksen pois ajoradalta ja aiheuttaa sateella liikenneturvallisuutta vaarantavaa lammikoitumista. MISU-kohteeksi valitun parantamishankkeen pituus on 13,6 km. Vanhinta 1976 rakennettua päällystettä on jäljellä 6 km, 1981 rakennettua päällystettä 5 km ja loppu on paikkausosuuksia.



Kuva 2. Maantielle 930 Mellakoski - Mellajärvi tyypillisiä vaurioita ovat syvät reunan urat sekä eriaisteiset pituushalkeamat

4.2.2 Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus

MISU-projektin tutkimukset aloitettiin syyskesällä 1997, jolloin tiellä tehtiin maatutkamittaukset 500 MHz:n ja 1,0 GHz:n antenneilla, palvelutasoauto-mittaukset sekä kantavuusmittaukset. Mittaukset tehtiin välillä tieosa 7/5118 - 10/6688, yhteensä 13 333 m. Syksyllä 1997 tehtiin vielä routasondimittaukset tieosalta 10. Routanousumittaukset robotitakymetriä hyväksikäyttäen tehtiin kevättalvella ja kesällä 1997 lyhyeltä jaksolta tieosalta 10. Näitä mitaustuloksia ei kuitenkaan analysoitu tässä tutkimuksessa. Näytteet otettiin kesällä 1998, jolloin selvitettiin päällysteen ja kantavan kerroksen paksuudet ja otettiin näytteet kantavasta ja jakavasta kerroksesta.

Mittaustulosten analysointi aloitettiin syksyllä 1997, jolloin Road Doctor -ohjelmistoa oli jo kehitetty siten, että sen avulla kyettiin lukemaan ja esittämään eri mitaustulokset samanaikaisesti kuvaruudulla. Alustavat tulokset esitettiin MISU-projektin väliraportissa (Tielaitoksen selvityksiä 23/1999). Näiden tulosten sekä mt 939 Kolari - Kurtakko -tulosten avulla laadittiin kesällä 1998 ohjeistot ja luokitus tieanalyysin pohjaksi, jota sitten testattiin

muissakin konsultoinnin maatutkaryhmän ja Roadscanners Oy:n tutkimuskohteissa. Vuoden 1998 aikana Road Doctor -ohjelmistoa kehitettiin siten, että sillä voitiin tehdä myös tieanalyysi/toimenpide-ehdotus.

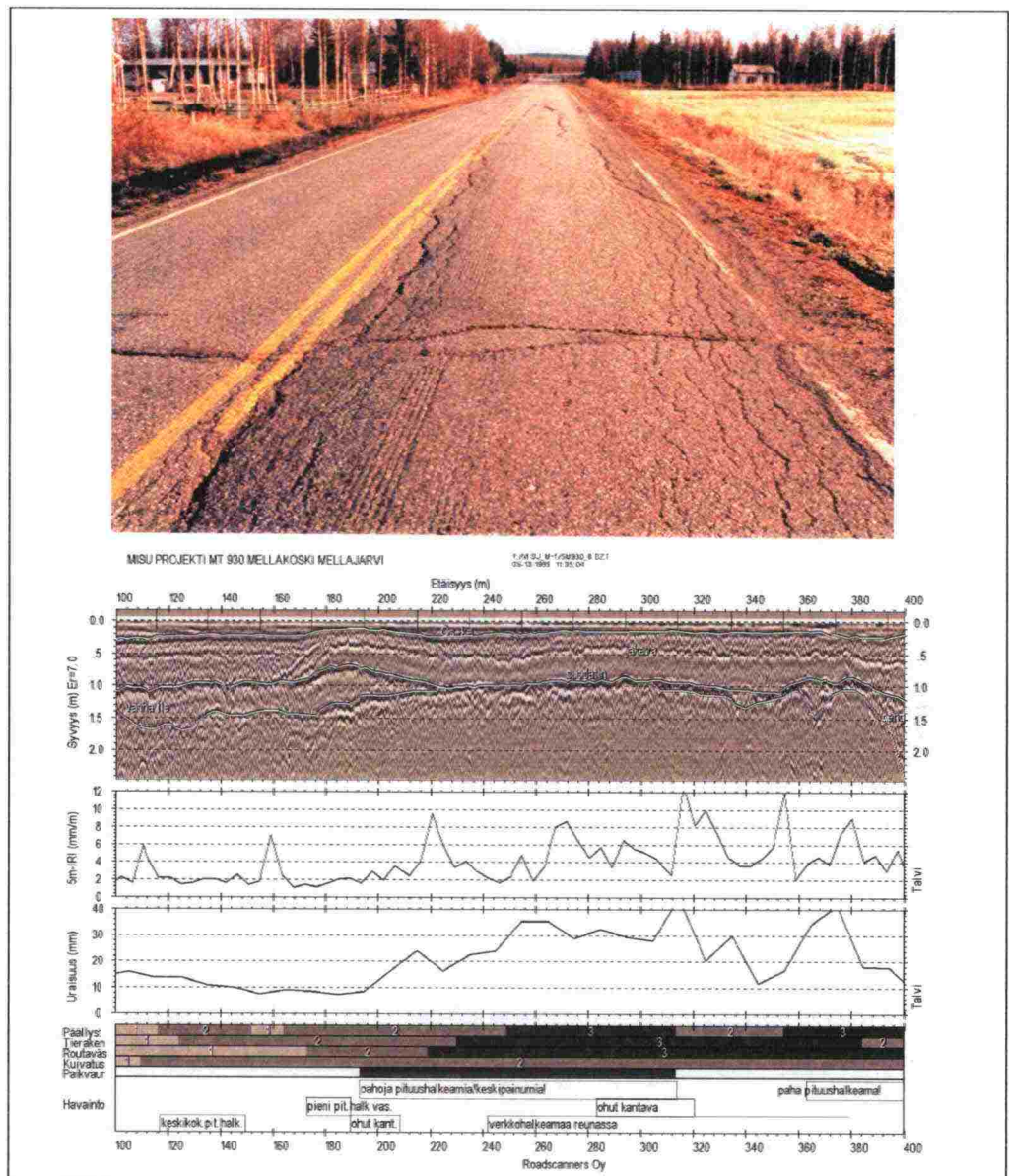
Tieanalyysin pohjalta tehtiin hankkeelle mt 930 Mellakoski - Mellajärvi kevyt parantamissuunnitelma. Suunnitelmaan kuului tien eri vaurioiden korjaussuunnitelmat sekä päällysrakenteen kantavuusmitoitus.

Mt:n 930 Mellakoski - Mellajärvi tieosan 7 alussa pohjamaa on hiekkamoreenia. Parannetun tien rakennekerrospaksuudet vaihtelevat 0,7 - 1,2 m:n välillä, kun tien rakennekerrosten kokonaispaksuuksien vaihtelu oli 1,2 - 2,4 m. Ohuimmissa kohteissa esiintyi paikoin keskihalkeamaa ja verkkohalkeamaa.

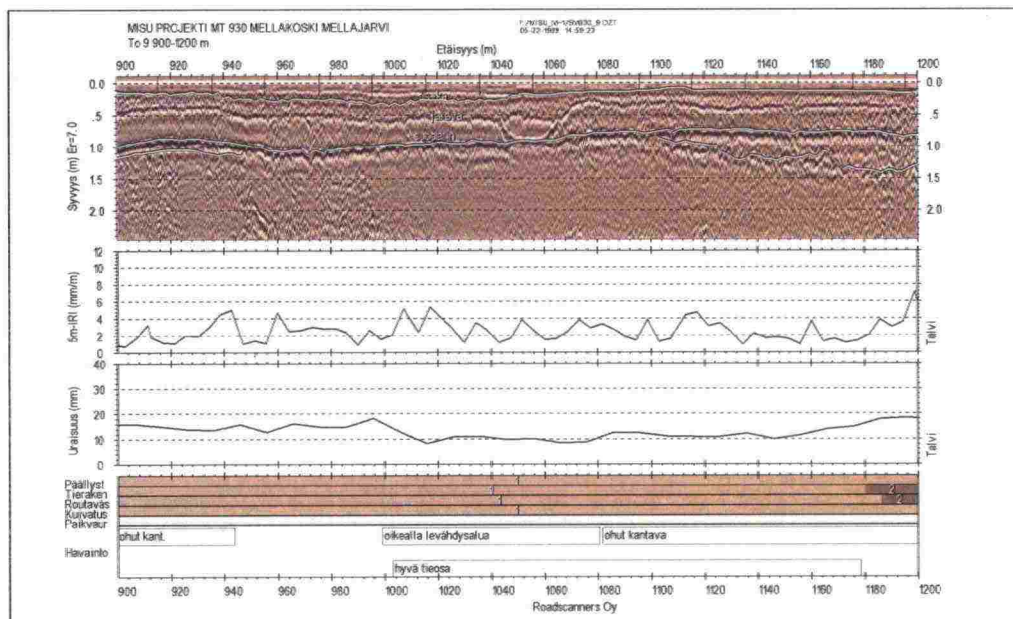
Koko tien pahimmat routavauriot esiintyvät tieosan 8 alussa paaluvälillä 200 - 600 (*Kuva 3*). Pahimmin vaurioitunut jakso oli rakennettu parantamisen yhteydessä uudelleen, eikä sen alla ollut vanhaa tietä. Tieosan 8 pohjamaa on tutkaprofiililta arvioituna siltistä moreenia ja hiekkamoreenia. Silttimooreenin alueella esiintyy pituushalkeamia etenkin kohteissa, joissa tierakenteiden kokonaispaksuus vaihtuu. Tämä viittaisi siihen, että pituushalkeamia synnyttää routanousun aiheuttama halkaisukiilailmiö. Tieosan lopussa paalulta 2030 alkaen pohjamaa on silttiä. Tällä jaksolla esiintyy runsaasti pituushalkeamia.

Tieosan 9 alussa paalulle 260 saakka pohjamaa on lajittunutta hiekkaa ja soraa. Myös paaluvälillä 730 - 1120 pohjamaa on hiekkaa ja kuivaa hiekkamoreenia ja tie on säilynyt varsin hyvässä kunnossa (*Kuva 4*). Paalulta 1280 alkaen pohjamaa on siltistä moreenia. Pahoja routavaurioita esiintyy välillä 2180 - 2500, jonka jälkeen pohjamaa muuttuu tutkaprofiilin perusteella hiekkamoreeniksi. Paalulta 3500 tieosan loppuun pohjamaa on jälleen siltistä hiekkamoreenia.

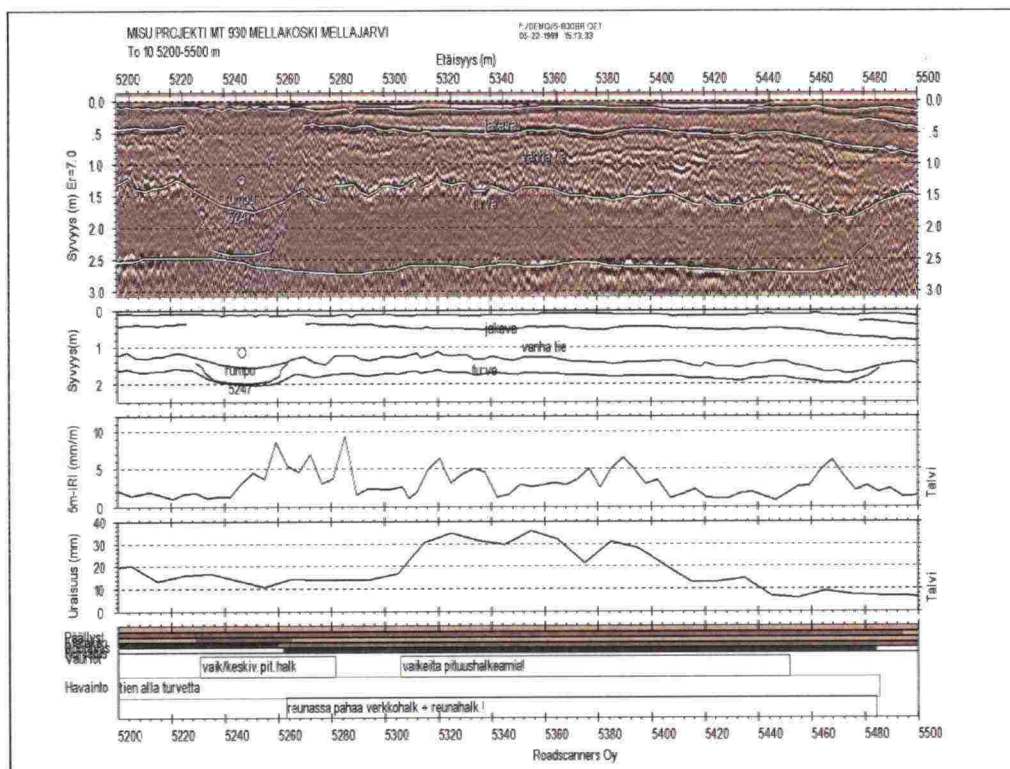
Tieosan 10 alussa paalulle 1600 saakka pohjamaa on silttiä ja siltistä hiekkamoreenia. Paaluvälillä 920 - 1565 tie on korjattu yli 2 m paksuksi routimattomaksi maalaatikkorakenteeksi, joka on säilynyt erinomaisessa kunnossa. Paalulta 1580 alkaen pohjamaa muuttuu karkeammaksi hiekkamoreeniksi ja paalulta 3000 alkaen tien alla tavataan paikoin turvetta; suurimmat turveosuudet sijoittuvat paaluvälille 3655 - 4265 ja 5056 - 5487 (*Kuva 5*). Näillä jaksoilla tiellä esiintyy pahoja pituushalkeamia, jotka aiheutuvat todennäköisesti tien levenemisestä tai tien sijoittumisesta turvealueen reunalle. Paalulta 5600 alkaen tutkakuvassa näkyy tien alla kallio alle 3 m:n syvyydellä ja välillä 6205 - 6610 kallio on paikoin hyvin lähellä tien pintaa (*Kuva 6*).



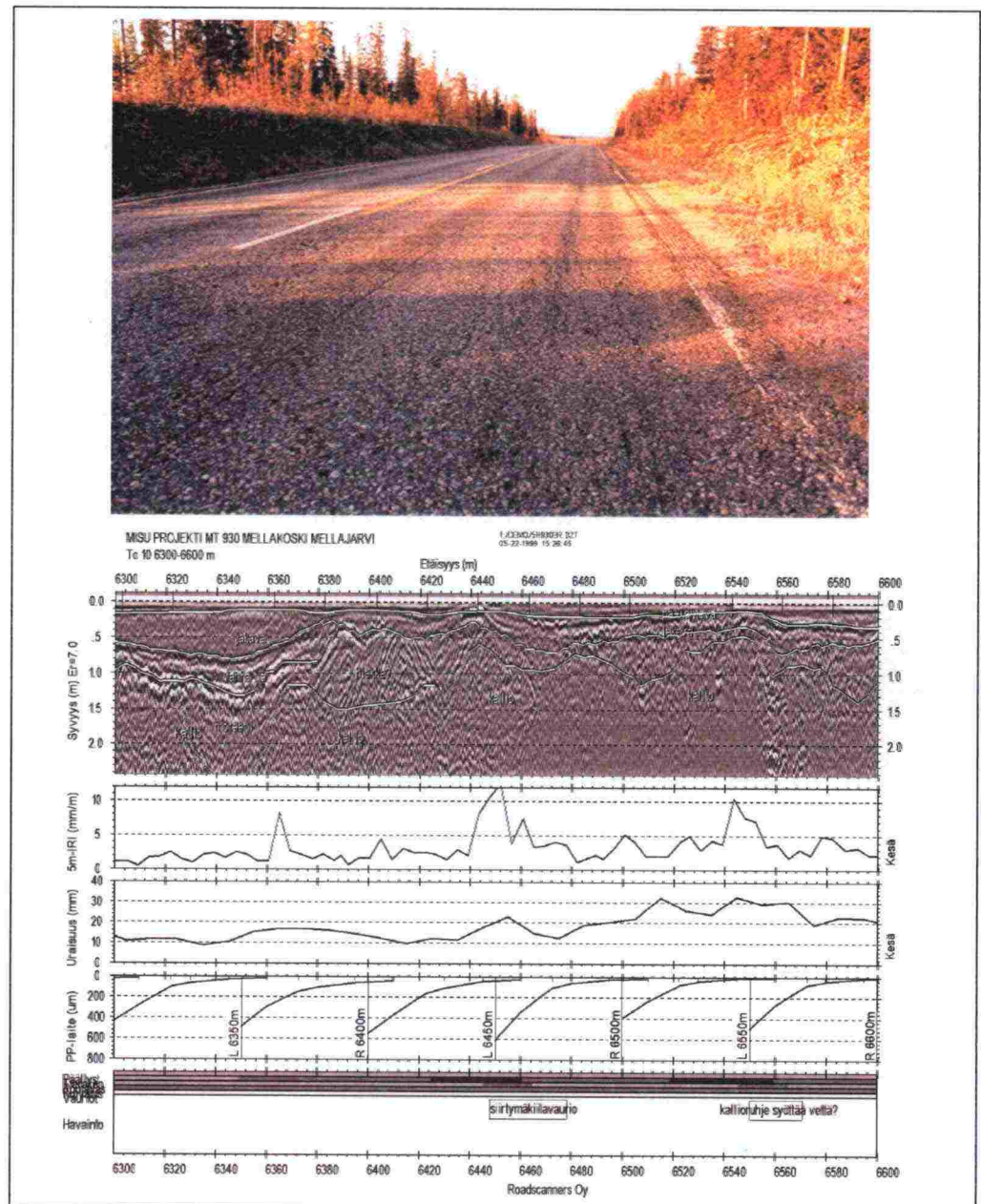
Kuva 3. Paha routavaurio ja kohdasta tehty tieanalyysi. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 8, paaluväli 100 - 400



Kuva 4. Hyväkuntoinen jakso. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 9, paaluväli 900 - 1200



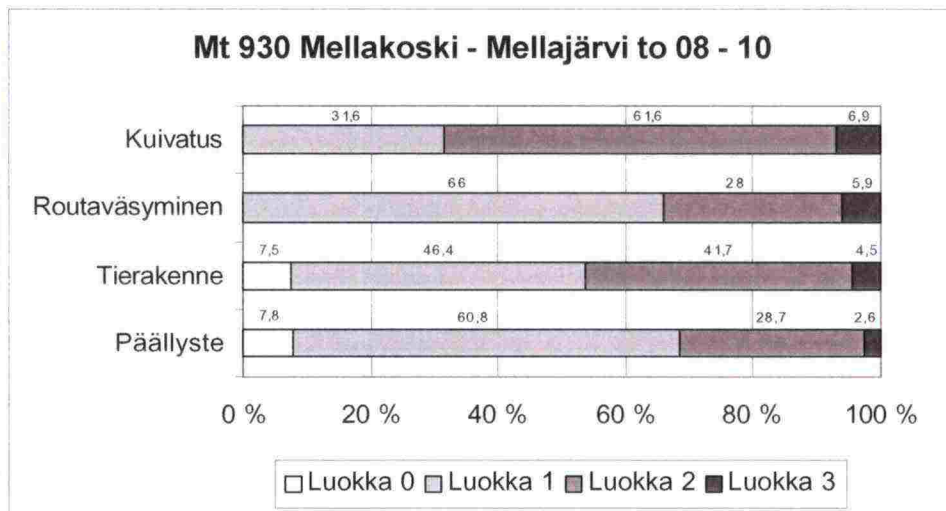
Kuva 5. Turvekerroksia tien alla. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10, paaluväli 5200 - 5500



Kuva 6. Kallion päälle rakennettu pahasti urautunut tie. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10, paaluväli 6300 - 6600

4.2.3 Tutkimustulokset

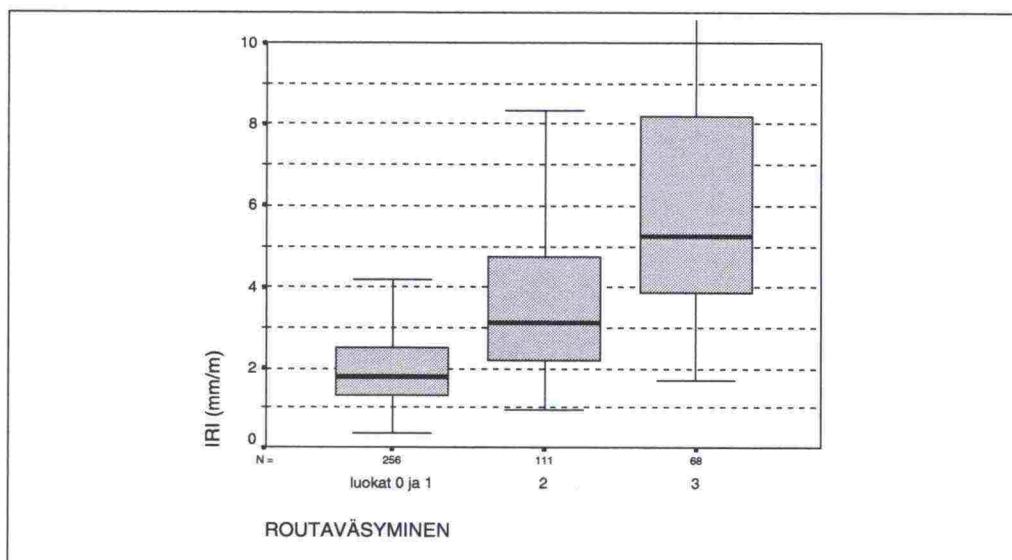
Mt:n 930 Mellakoski - Mellajärvi keskimääräinen päällystepaksuus oli 56 mm, kantavan kerroksen paksuus 127 mm ja uusien rakenteiden kokonaispaksuus 0,93 m, kun rakenteiden kokonaispaksuus oli keskimäärin 1,3 m. Tien keskimääräinen IRI-arvo oli 3,4, urasyvyys 16,2 mm, SCI 162, BCI 26 ja E2-arvo 289. Yhteenveto tieanalyysituloksista on esitetty kuvassa 7 ja tieosien 8, 9 ja 10 tilastolliset analyysit on esitetty tarkemmin liitteessä 1. Kuvasta voidaan nähdä, että pahoja routavaurioita esiintyy vain noin 5 %:n matkalla, mitä voidaan pitää riittävän pienenä kevyen rakenteen parantamisen hankkeelle.



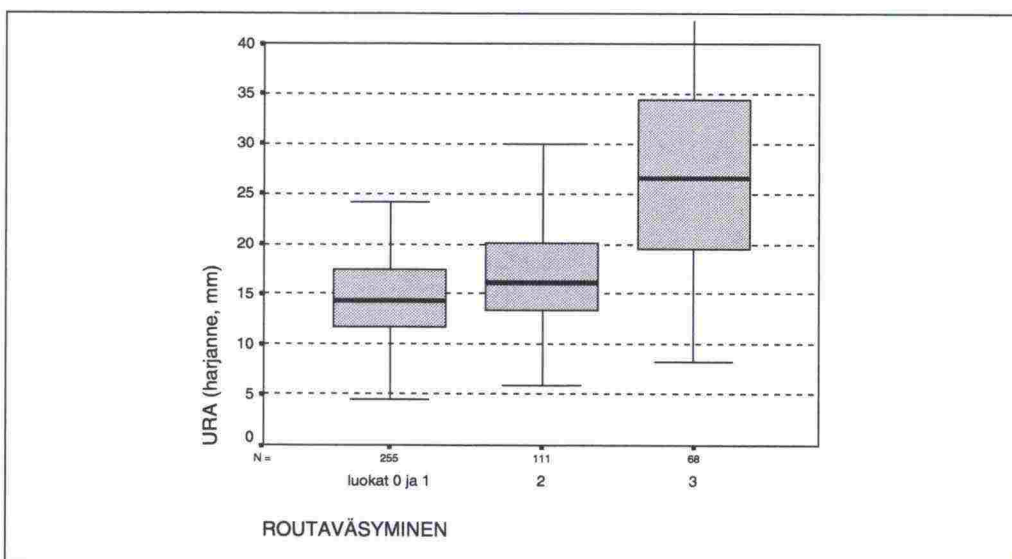
Kuva 7. Yhteenveto tieanalyysituloksista. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi

Tieosan 8 tieanalyysin tilastolliset hajontakuviot osoittavat selkeästi syyt tien ongelmiin. Kuvat 8 ja 9 osoittavat, että tien suurin urautuminen esiintyy routavauriokohteissa, joissa IRI-arvot ovat myös suuret. Kun tarkastellaan SCI- ja BCI-mittaustulosten suhdetta tierakenneanalyysiin (Kuva 10, Kuva 11), havaitaan, että vaikkakin tien SCI-arvot nousevat tierakenteen huonontuessa, ovat SCI-arvot vielä kauttaaltaan hyviä. Toisaalta tierakenteen luokissa 2 ja 3 ovat BCI-arvot huomattavasti suuremmat kuin luokissa 0 ja 1, mikä osoittaa, että tien urautumisen syynä ovat tierakenteen ja pohjamaan rajapinnassa roudan sulamisaikana tapahtuvat muodonmuutokset. Tasaiseen routanousuun viittaavat myös tiessä esiintyvät pituushalkeamat. Tieosan 10 BCI-jakauma (Kuva 12) osoittaa puolestaan, että tällä jaksolla tierakenteen pahin deformaatio liittyy kohteisiin, missä kallio on hyvin lähellä tasausviivaa ja BCI on pieni, tosin tässä luokassa tavattiin vain muutama havainto.

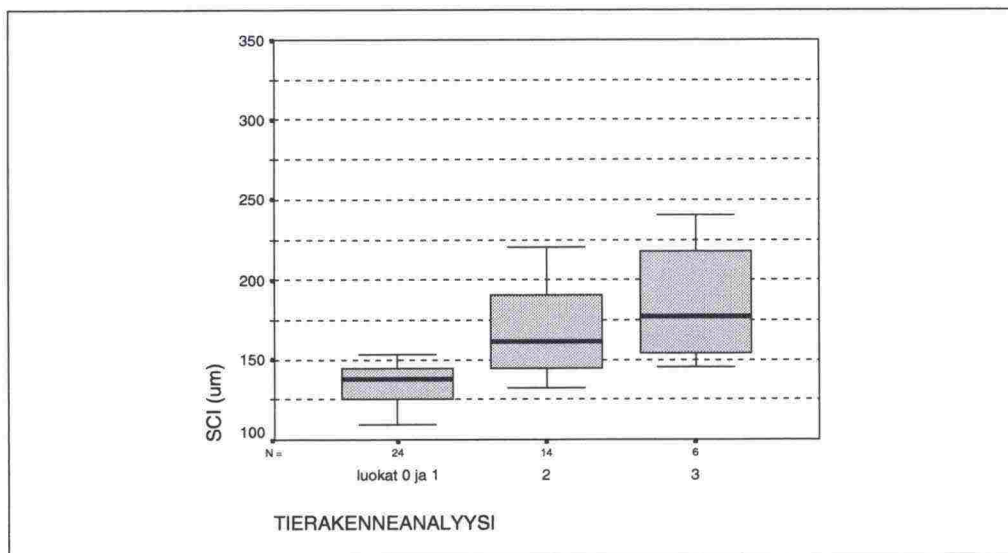
Tutkittaessa mittaustulosten ja tieanalyysitulosten hajontakuvioita korjaustoimenpiteitä silmälläpitäen voidaan havaita, että esimerkiksi tieosalla 8 ovat 1,1 - 1,3 m paksut tierakenteet kestäneet paremmin verrattuna 0,8 - 1,1 m paksuihin rakenteisiin (Kuva 13). Kuva 14, jossa tarkastellaan rakenteiden kokonaispaksuuden ja uraisuuden suhdetta tieosalla 10, osoittaa, että yli 1 m paksuissa tierakenteissa ei esiinny routaväsymistä, mutta toisaalta urautumisen määrään ei tämän jälkeen kerrospaksuuden kasvattamisella ole merkitystä. Kuva 15 tieosalta 10 osoittaa puolestaan, että maalaatikkorakenne toimii erinomaisesti. Hajontakuviot tieosilta 8 ja 10 (Kuva 16, Kuva 17) osoittavat myös, että päällysteen paksuudella on myös selvä vaikutus rakenteen pintakuntoon, esimerkiksi tieosalla 10 pahimmin vaurioituneet päällysteet olivat vain alle 40 mm paksuja. Tulos tukee myös käsitystä, että keveällä stabiloinnilla voidaan tämän tyyppisen tien kuormituskestävyyttä parantaa merkittävästi.



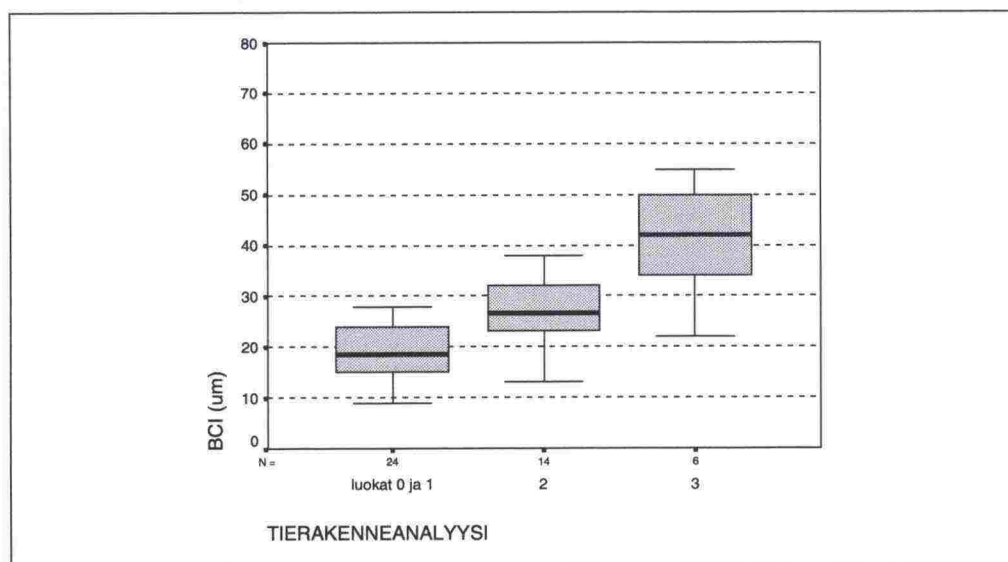
Kuva 8. 5m-IRI -arvon vaihtelu routaväsymisen eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 8



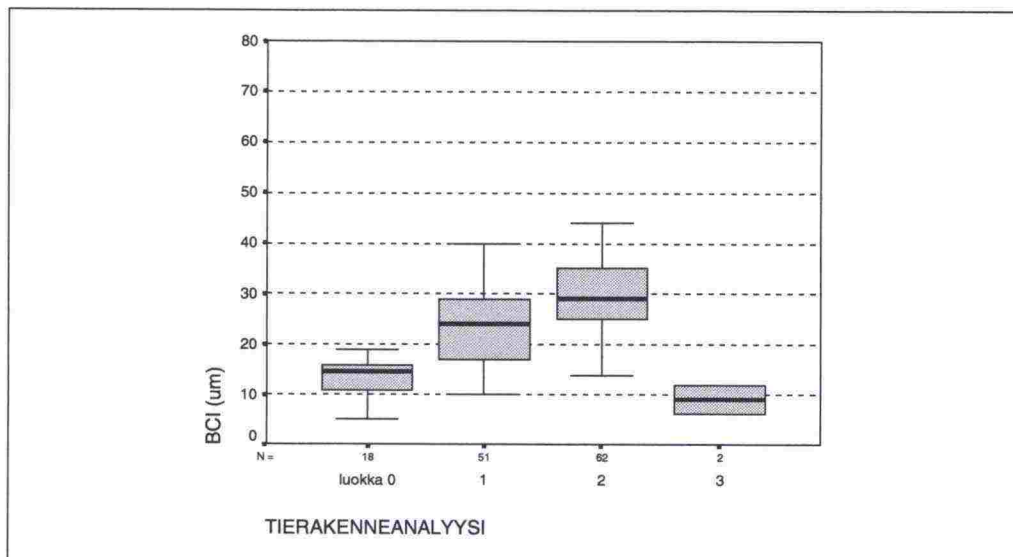
Kuva 9. Harjanneura-arvon vaihtelu routaväsymisen eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 8



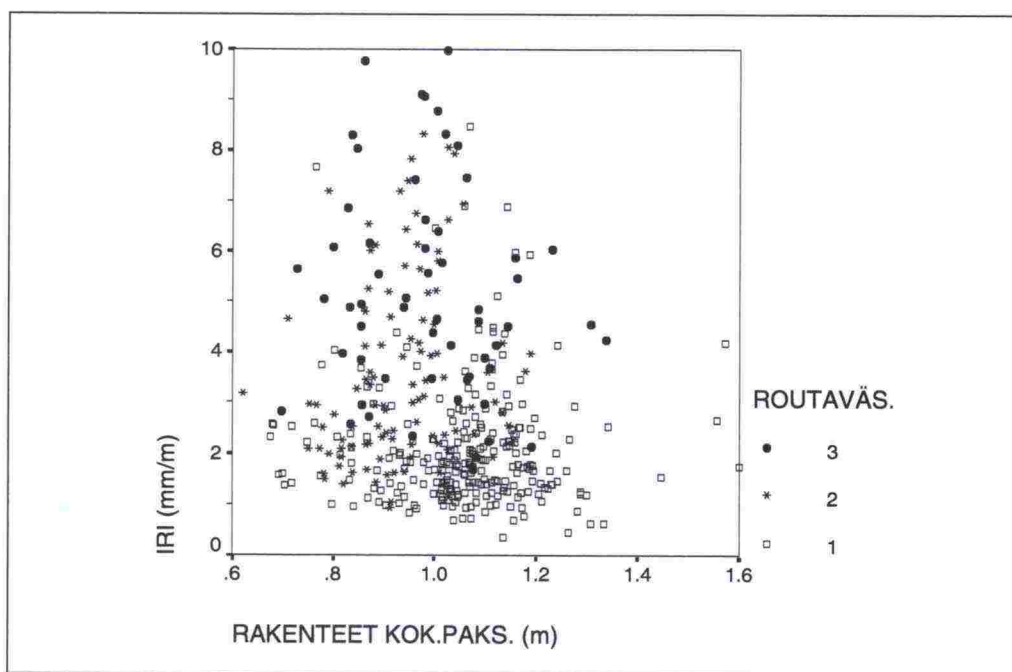
Kuva 10. SCI-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mella-koski - Mellajärvi, tieosa 8



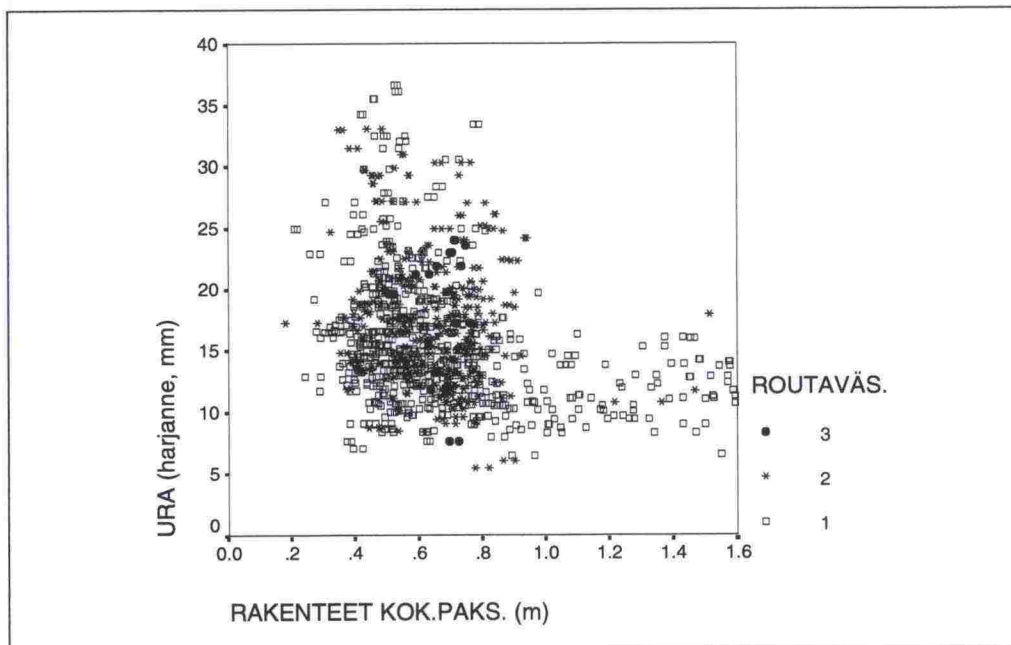
Kuva 11. BCI-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mella-koski - Mellajärvi, tieosa 8



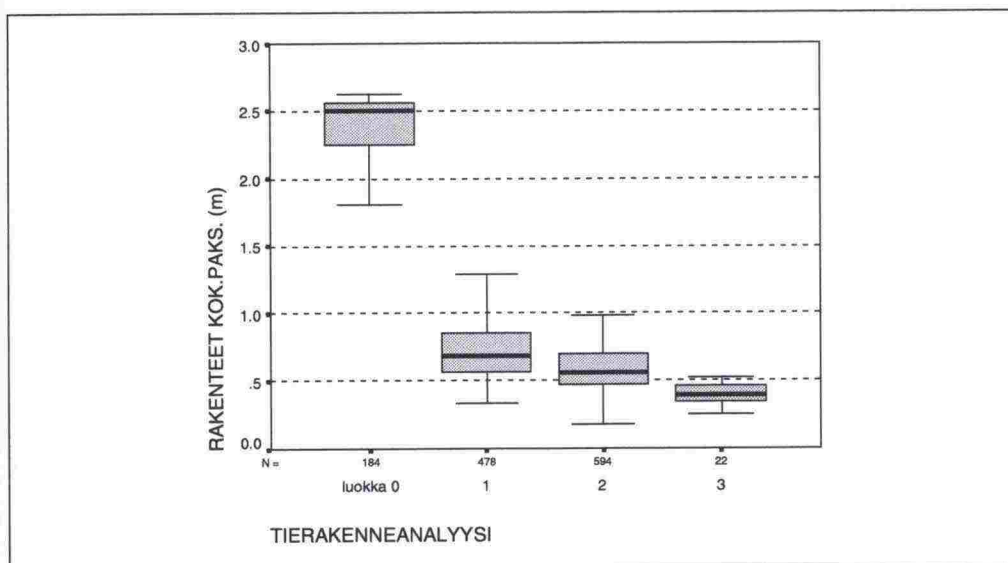
Kuva 12. BCI-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10



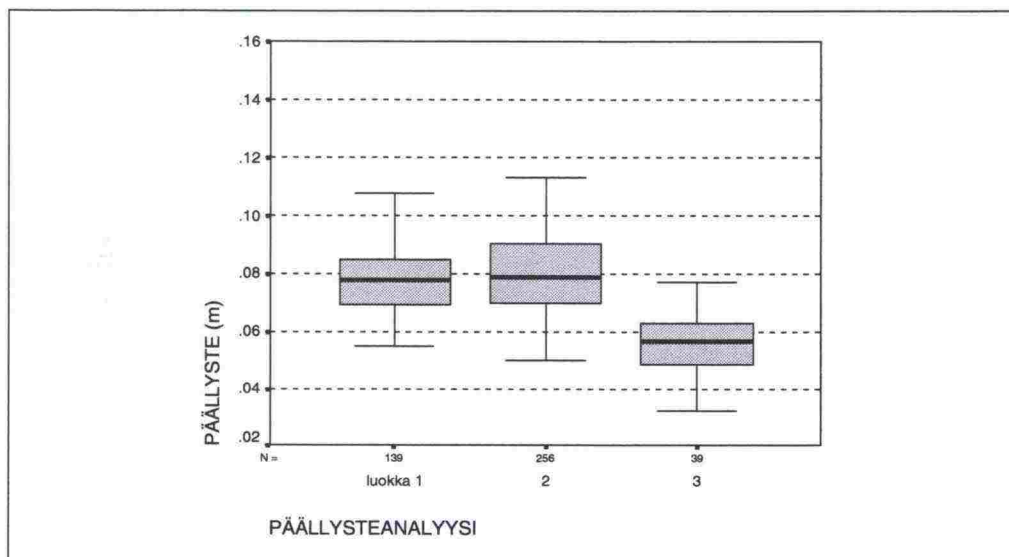
Kuva 13. Rakenteiden kokonaispaksuuden ja 5m-IRI -arvon välinen riippuvuus routaväsymisen eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 8



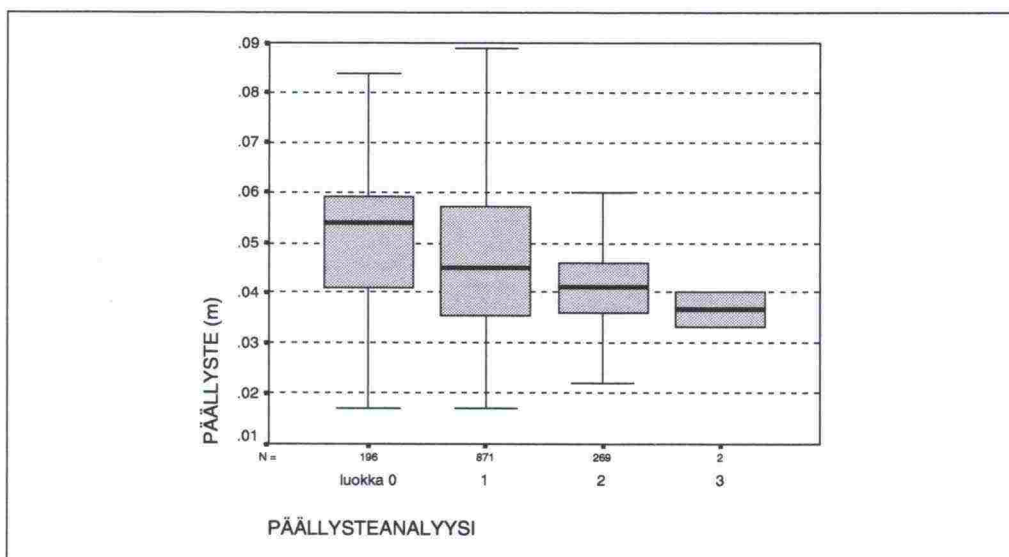
Kuva 14. Rakenteiden kokonaispaksuuden ja harjanneura-arvon välinen riippuvuus routaväsäytymisen eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10



Kuva 15. Rakenteiden kokonaispaksuuden vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10



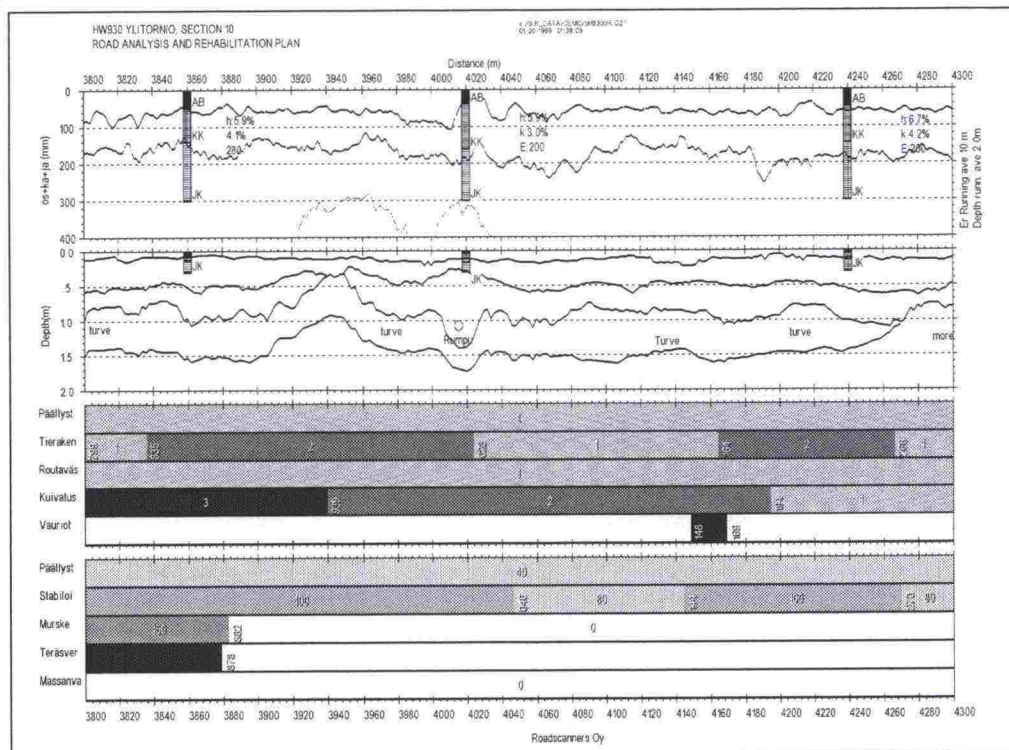
Kuva 16. Päällysteen kokonaispaksuuden vaihtelu päällysteanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 8



Kuva 17. Päällysteen kokonaispaksuuden vaihtelu päällysteanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10

4.2.4 Korjaussuunnitelma

Mt:n 930 Mellakoski - Mellajärvi korjaussuunnitelma tehtiin Road Doctor -ohjelmiston avulla. Suunnitelma-asiakirjojen pituusleikkauksissa esitettiin tutkalla määritetut päällysrakennekerrosten paksuudet, kairauspistetiedot ja laboratoriotutkimusten keskeisimmät tulokset (näytteen hienoainemäärä, kosteus ja rakeisuuden perusteella määritetty E-moduuli) sekä suunnitellut korjaustoimenpiteet (Kuva 18).



Kuva 18. Maatutkatulkinnat, näytteenottotulokset, tieanalyysi ja parantamissuunnitelma. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10, paaluväli 3800 - 4300

Tässä hankkeessa Lapin tiepiirin päällysteiden mitoituksessa normaalisti käytettävää APAS-ohjelmaa ei voitu käyttää parannettavan rakenteen mitoituksessa. Syynä tähän lienee se, että kohteen liikennemäärät ovat melko alhaiset ja päällysrakenteen yläosa on suhteellisen hyväkuntoinen sekä se, että APAS-ohjelma ei osaa ottaa huomioon roudan sulamisaikeista deformaatiota. Siksi kohteen mitoituksessa lähdettiin tieanalyysiin pohjautuvista tuloksista, joiden mukaan tien voimakas urautuminen johtuu roudan sulamisaikeaan tapahtuvasta rakenteen deformaatiosta.

Vaikka päällysteen alla oleva kantava kerros ei osoittautunut huonolaatuiseksi, valittiin vahvistustoimenpiteeksi Remixer-stabilointi, koska sen avulla saadaan deformatunut päällysrakenteen yläosa homogenisoitua ja samalla parannetaan koko tierakenteen kuormituskestävyyttä. Stabilointisyvyudeksi valittiin 80 mm siellä, missä deformatuminen on ollut suhteellisen pientä (tieanalyysissa rakennekerrosten luokat 1 - 2) ja 100 mm siellä, missä urautuminen on ollut suurta (rakennekerrosten luokat 2 - 3). Näitä syvyysiksiä käytettäessä stabiloidaan päällysteen alla olevaa kantavaa kerrosta 20 - 50 mm. Remixer kantavan kerroksen päälle päällystetään vielä PAB-V päällystettä 80 kg/m^2 (n. 40 mm). Stabilointia ei tehdä tieosalla 10 välillä 944 - 1572, koska tie tällä osalla on erinomaisessa kunnossa. Tällä jaksolla vanhan päällysteen päälle lisätään vain PAB-V päällystettä 80 kg/m^2 .

Kantavan kerroksen murskeen lisäys suunniteltiin kohteisiin, joissa päällysrakennekerros oli liian ohut sekä joissa pituushalkeamien korjaamiseksi asennetaan tiehen teräsverkot. Pituushalkeamakohteisiin asennettavat teräsverkot kaivetaan 150 mm:n syvyydelle vanhaan päällysrakenteeseen ja tämän päälle tiivistetään vielä 150 mm uutta kantavaa kerrosta. Näin ollen suojaetäisyydeksi Remixer kantavan kerroksen ja teräsverkon väliin jää 200 mm.

Pahimmin routivat kohteet korjataan massanvaihdolla. Massanvaihtokohteissa Remixer kantavan kerroksen alla tulee olla vähintään 200 mm sitomatonta kantavan kerroksen mursketta. Massanvaihtomassat käytetään tien luiskien loiventamiseen ja vahvistamiseen. Ne epätasaiset (korkeat IRI-arvot) kohteet, joihin massanvaihtoa ei ole suunniteltu tasataan ennen stabilointia.

Kuivatusta parannetaan puhdistamalla ojat ainakin alueilla, joissa tieanalyysin perusteella kuivatus on luokiteltu luokkaan 3.

4.3 Pt 17469 Leppälänkylä, Kuortane

4.3.1 Yleistä

Paikallistie 17469 oli aikaisemmin osa Kuortaneen - Töysän Hakonmäen välistä maantietä 7072. Tien Kuortaneen puolimmainen osa, mt:stä 697 lähtien muutettiin paikallistieksi 1.12.1964. Tie palveli soratienä 1970-luvun lopulle saakka, vain 83 m tien loppupäästä oli päällystetty vuonna 1963 öljysoralla. Vuonna 1968 vastaavasti tien alkupäästä 595 m rakennettiin ja päällystettiin öljysoralla.

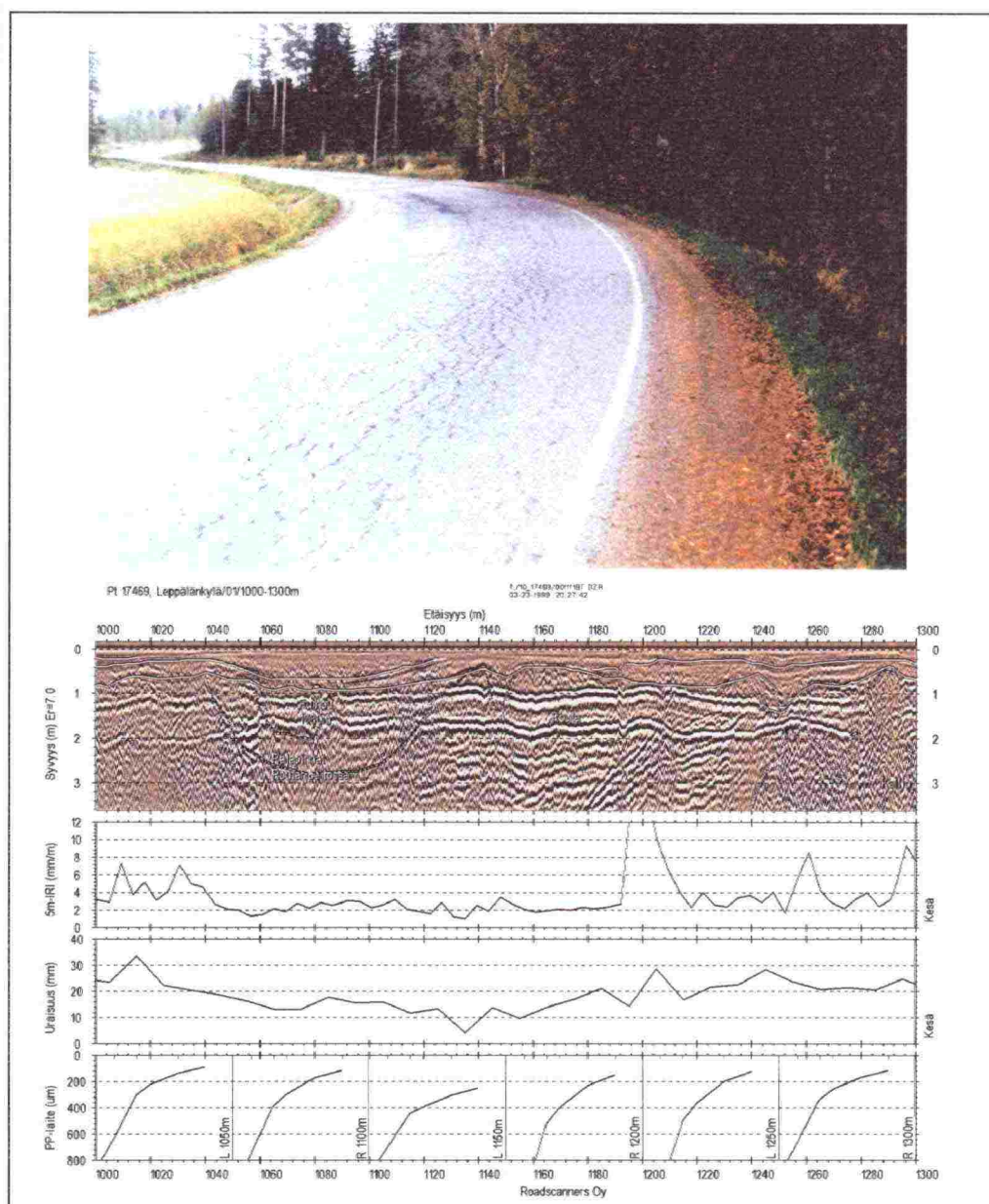
Vuonna 1978 käynnistyi suuntauksen parantamishanke paaluväleillä 2635 - 2885 ja 4520 - 4670. Työtä jatkettiin rakenteen parantamisena paalulta 595 alkaen. Vuonna 1980 rakenteen parantaminen valmistui ja koko tie päällystettiin öljysoralla lukuunottamatta jo aikaisemmin päällystettyjä tieosuuksia tien alku- ja loppupäässä. Nämä osuudet päällystettiin uudelleen 1989, jolloin vanha tie karhittiin, tasattiin ja tiivistettiin uuden päällysteen alle.

4.3.2 Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus

Tien tutkimukset aloitettiin 12.5.1998, jolloin tiellä suoritettiin maatutkaluotaus 500 MHz:n ja 1,0 GHz:n antennilla. Maatutkadatassa näkyy tällöin vielä sulamatonta routaa, joka osittain vaikeutti tulkintaa (ks. esim. Kuva 19). Kantavuusmittaukset ja näytteenotto tiestä suoritettiin kesällä 1998 ja PTM-auton mittaukset syksyllä 1998. Tie mitattiin myös GPS-autolla syksyllä 1998.

Mittausten pohjalta tiestä tehtiin tieanalyysi ja rakennekerrosten paksuudet tulkittiin. Tieanalyysin perusteella tielle laadittiin EasyWay-ohjelmistolla parannussuunnitelma, mitoituksessa käytettiin soveltaen APAS-ohjelmistoa.

Leppälänkylän paikallistie sijoittuu alkuosaltaan 0 - 1250 alueelle, jota luonnehtivat loivapiirteiset moreenimäet ja niiden välissä olevat silttiset pellot. Tällä tiejaksolla tien reunassa esiintyy erityisesti kantavuuspuutteita, jotka johtuvat paikoin jyrkistä sisäluiskista. Paaluvälillä 1040 - 1240 tie sijaitsee sivukaltevassa rinteessä ja pohjavettä suotautuu tien alle aiheuttaen routa-vaurioita (Kuva 19).



Kuva 19. Sivukaltevassa ja kosteassa rinteessä sijaitseva tie, jonka vauriot johtuvat pohjaveden suotautumisesta routimisrintamaan. Maatutkaprofilissa voidaan nähdä roudan ylä- ja alarajat noin 1 ja 2 m:n syvyyksillä. Pt 17469 Leppälänkylä, paaluväli 1040 - 1240

Paaluvälillä 1250 - 2200 tieosaa luonnehtivat erittäin lähellä tasausviivaa sijaitseva kallio ja tieosan erityisongelmana olevat tierakenteen läpi nousevat lohkarieet (Kuva 20).



Kuva 20. Kallioalueella sijaitseva tie, jossa kallion päälle rakennetut tierakenteet ovat ohuet ja lohkareita nousee useassa kohdassa tien läpi. Tiejaksolla on lisäksi useita hyvin pienisäteisiä kaarteita. Pt 17469 Leppälänkylä, paaluväli 1250 - 2120

Paaluvälillä 2200 - 4000 tien pohjamaana on pääosin HkMr ja siHkMr, joka on välillä kuivaa ja välillä märkää. Esimerkiksi paaluvälillä 2900 - 2960 routa on edennyt syväälle kuivaan pohjamaahan, kun taas paaluvälillä 3200 - 3350 pohjamaa on märkää ja routa on lähempänä pintaa.

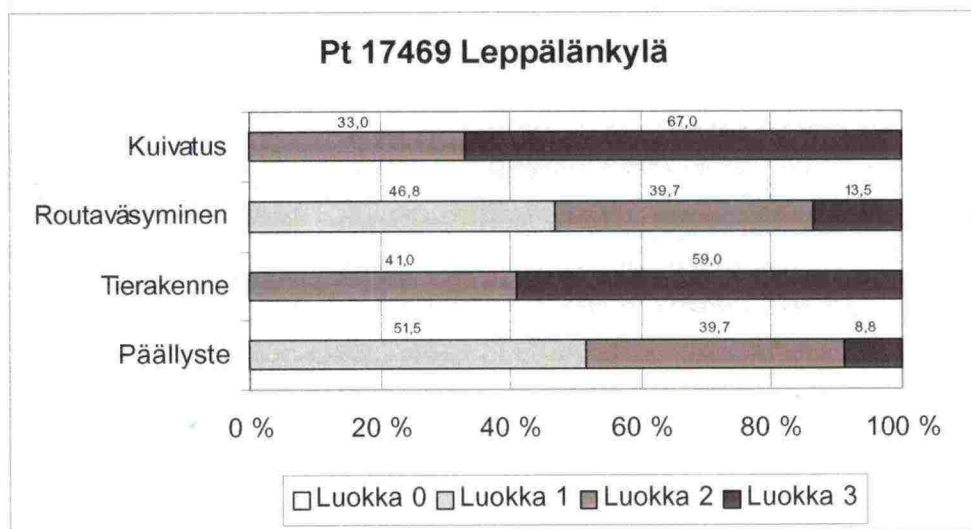
Paalun 4000 jälkeen tie sijoittuu lajittuneiden pohjamaalajien alueelle ja paalulta 4300 alkaa tieosa, jonka pohjamaa on Si tai saSi ja jota luonnehtivat pahat routavauriot. Paalulta 4500 alkaen pohjamaa on kuivempaa hiekkamoreenia ja myöhemmin paalulta 5500 tien loppuun asti tie kulkee kuivalla harjualueella.

4.3.3 Tutkimustulokset

Leppälänkylän paikallistien päällysteen keskipaksuus oli 81 mm, kantavan kerroksen paksuus keskimäärin 0,22 m ja rakenteiden kokonaispaksuus 0,69 m. Etenkin kantavan kerroksen paksuuden määrittäminen oli vaikeaa, koska materiaali ei sähköisesti sanottavasti poikennut alemmista tiemateriaaleista. Paikoin kantava kerros oli rakeisuudeltaan kivistä hiekkaa.

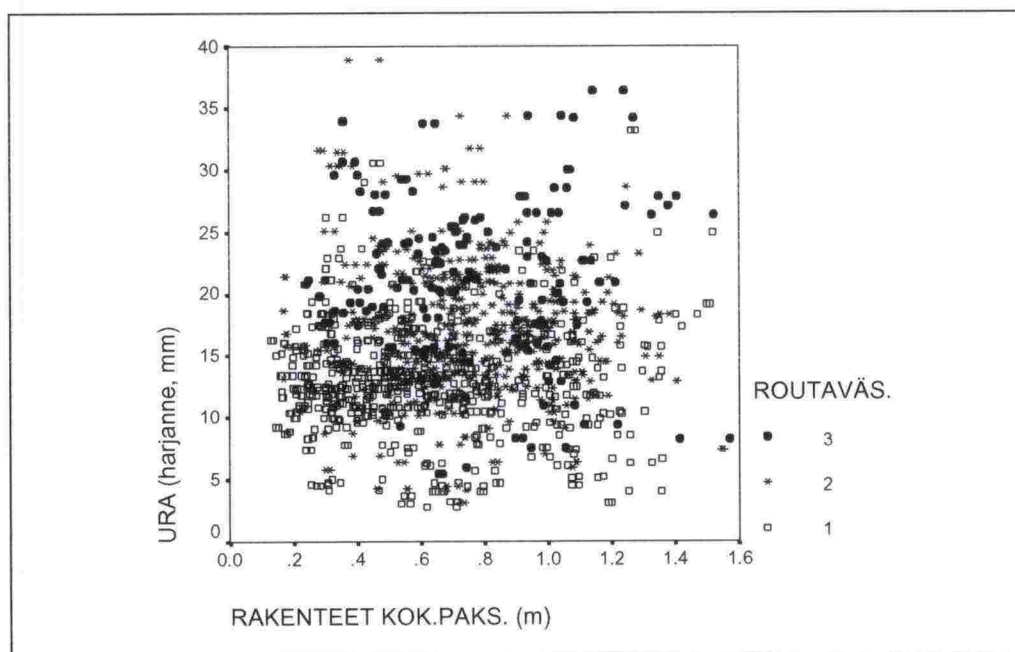
Yhteenvedo Leppälänkylän paikallistien tieanalyysituloksista on esitetty kuvassa 21. Tien kuntoa kuvaavien indeksien keskiarvot ovat: 5m-IRI 3,1 mm/m, harjanneura 16,0 mm, SCI 243, BCI 36 ja E2 214. Nämä luvut ja erityisesti SCI-arvot osoittavat selkeästi, että Leppälänkylän paikallistien ongelma sijoittuu päällysrakenteen yläosaan, jonka kantavuus on erittäin

heikko. Routaväsymisen luokka on 0 - 1 vajaalla puolella tien pituudesta ja vakavia routavaurioita tiellä esiintyy vain 13,5 % matkalla, mikä on kuitenkin prosenttiosuutena niin suuri, että tien parantamistoimenpiteet voidaan luokitella raskaaksi rakenteen parantamiseksi, jolloin myös tien geometrian muutoksia voidaan erikseen harkita.



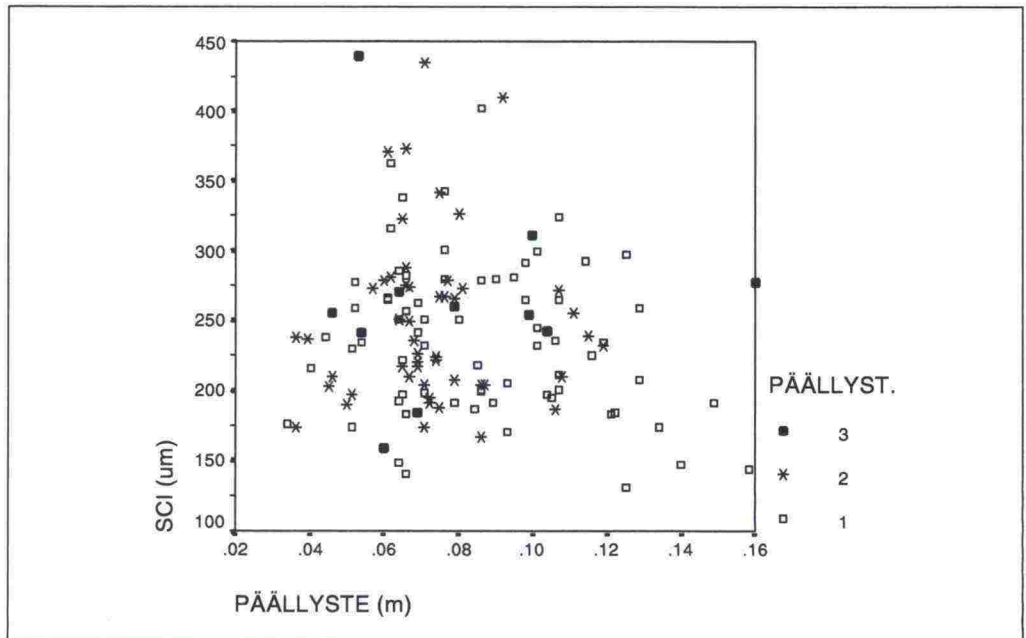
Kuva 21. Yhteenvedo tieanalyysituloksista. Pt 17469 Leppälänkylä

Leppälänkylän paikallistien suurimmat ongelmat liittyvät huonolaatuisiin tie-materiaaleihin, mikä näkyy, kun tarkastellaan Leppälänkylän paikallistien rakennekerrosten paksuuden suhdetta ura-arvoihin (Kuva 22). Kuvasta nähdään, että urautuminen on suurta paksuillakin rakennekerrospaksuuksilla, mitä ilmiötä ei todettu muilla MISU-kohteilla.



Kuva 22. Rakenteiden kokonaispaksuuden ja harjanneura-arvon välinen riippuvuus routaväsymisen eri luokissa. Pt 17469 Leppälänkylä

Kuva 22 antaa viitettä siitä, että Leppälänkylän paikallistien vahvistaminen stabiloimalla vaatii verrattain paksut sidotut kantavat kerrokset. Kun tarkastellaan päällysteen kokonaispaksuuden ja SCI-arvojen suhdetta, on vielä 100 mm:n päällystepaksuuksilla mitattu SCI-arvoja yli 250 (Kuva 23). Vasta 140 mm:n päällystepaksuuksilla ovat SCI-arvot laskeneet alle 200:n. Tulokset viittaavat myös siihen, että päällysteen sisäinen kunto on erittäin huono ja se on syytä uusita kokonaan parantamisen yhteydessä.



Kuva 23. Päällysteen kokonaispaksuuden ja SCI-arvon välinen riippuvuus päällysteanalyysin eri luokissa. Pt 17469 Leppälänkylä

4.3.4 Korjaussuunnitelma

Uusi tierakenne on mitoitettu APAS-mitoitusohjelmistolla. Koko tieosalle on suunniteltu päällysteeksi PAB-V 40 mm sekä päällysrakenteen yläosaan Remixer-stabilointi 90 - 150 mm.

Pahimpien routavauriokohteiden ja kantavuuspuutteiden korjaamiseen on suunniteltu joko massanvaihto 1,6 m:n syvyyteen tasausviivasta tai tasauksen nosto. Näissä kohteissa stabiloitavan kerroksen alle on suunniteltu 20 cm:n murskekerros.

Paaluväleillä 1350 - 1860 ja 1980 - 2120, joissa kalliopinta sijaitsee lähellä tien pintaa ja kivet sekä lohkareet ovat nousseet tierakenteen läpi, on suunniteltu suoritettavaksi haraus kivien ja lohkareiden poistamiseksi.

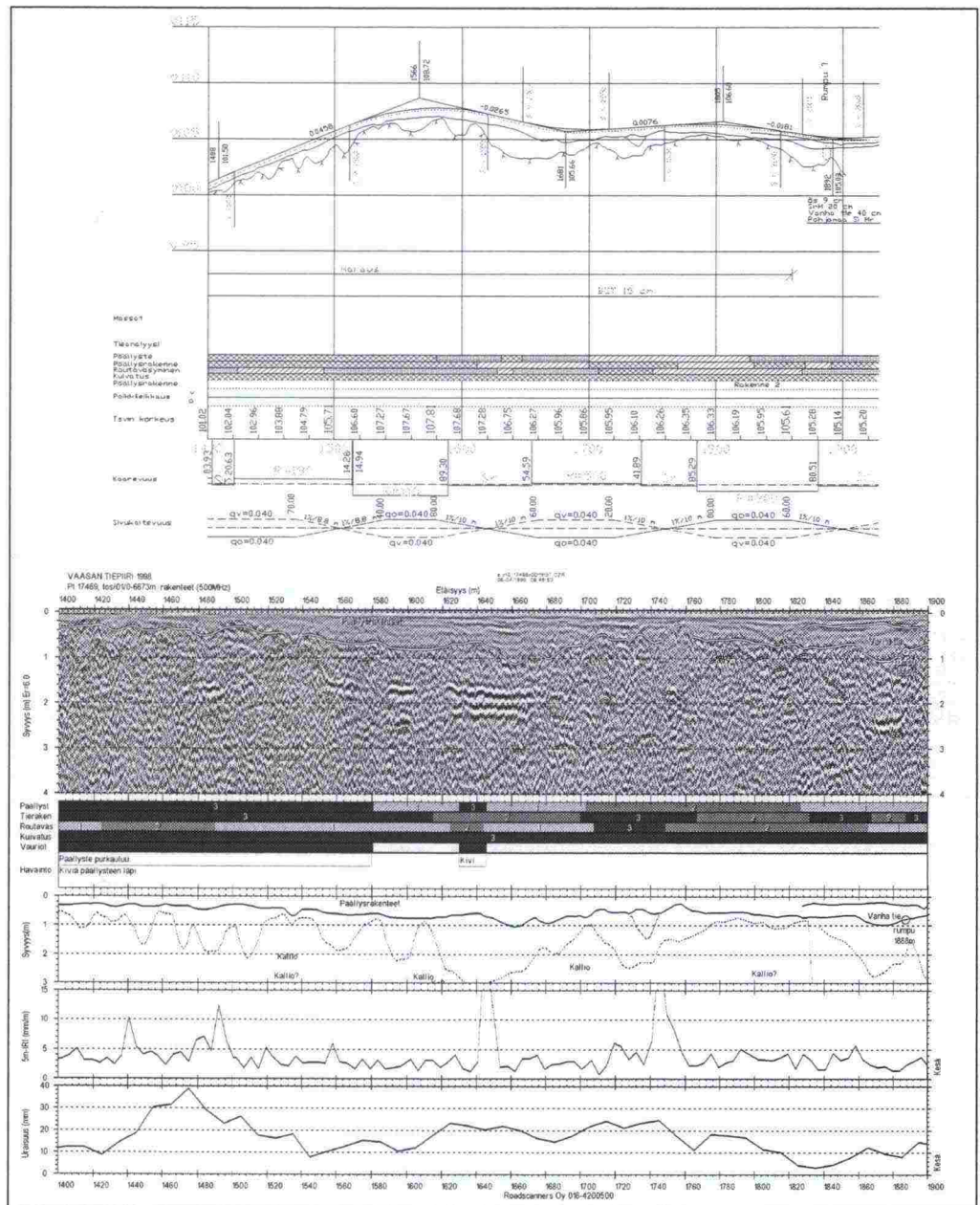
Paaluvälille 4620 - 4780 asennetaan tiehen teräsverkko. Verkko asennetaan siten, että stabiloitavan kerroksen ja verkon väliin jää noin 20 cm:n suojakerros.

Niillä tieosilla, joille on suunniteltu tasauksen muutos, massanvaihto tai teräsverkko, poistetaan nykyinen öljysorapäälyste jyrsimällä. Samoin tieosilla, joilla päälysteen paksuus on yli 100 mm, tulee tehdä osittainen jyrshintä (esim. 50 mm), jotta stabilointi olisi riittävän tehokas. Jyrshinty materiaali käytetään tienpinnan muotoiluun, stabiloitavaan kerrokseen tai päälystemateriaaliksi.

Tieanalyysin perusteella nykyisen tien kuivatus toimii monin paikoin puutteellisesti (luokka 3). Näiltä osin tulee suorittaa ojien perkausta ja varmistaa niiden toimivuus.

Suunniteltu tien vaakageometria noudattaa nykyisen tien suuntausta, eikä se vastaa kaikin paikoin mitoitusnopeuden 80 km/h edellyttämiä minimivaatimuksia. Varsinkin paaluvälillä 1000 - 2000 on lukuisia pienisäteisiä ($R = 100 - 200$ m) kaarteita. Samalle tieosalle sattuvat pahat routavauriot sekä kallion päälle rakennettu tieosuus, jossa on ohuet rakennekerrokset ja lohkariongelmia (Kuva 19, Kuva 20, Kuva 24). Kohteen parantamisessa hyötykustannussuhde paranee merkittävästi, jos vaurioiden korjaamisen lisäksi parannetaan tien geometriaa. Siksi tälle tieosalle laadittiin vaihtoehtoinen suunnitelma, jossa suuntaus täyttää mitoitusnopeuksien 80 km/h ja 50 km/h edellyttämät minimivaatimukset. Käytettävissä olleiden lähtötietojen perusteella ei tien uutta suuntausta voi tarkoin määrittää, vaan kohteesta tulee laatia paikallinen maastomalli.

Muualla tien pystygeometriaan on suunnitelmassa esitetty muutamia pienenhköjä muutoksia.



Kuva 24. Tieanalyysi ja pituusleikkaus. Pt 17469 Leppälänkylä, paaluväli 1400 - 1900

4.4 Mt 939 Kolari - Kurtakko

4.4.1 Yleistä

Suunnitteluhanke mt 939 Kolari - Kurtakko valittiin MISU-kohteeksi edustamaan tiesuunnitteluhanketta, jossa suunnittelijalla on vapaammat kädet tielinjan tasauksen ja vaakageometrian suhteen.

Ensimmäinen tiesuunnitelma Kolarin kirkonkylän ja Kurtakon kylän välille valmistui vuonna 1932, mutta tien rakentaminen aloitettiin työttömyystyökohteena vasta vuonna 1949. Tie valmistui 5 m leveänä vuonna 1955, jolloin se julistettiin yleiseksi tieksi. Uusi parantamissuunnitelma välille Kolari -

Kallo vahvistettiin vuonna 1974, jolloin tie suunniteltiin silloisen poikkileikkauksen IIIN-6/5,5 mukaiseksi öljysoratieksi. Hankkeen perusteluissa todettiin mm., että tie on erittäin routiva ja kantavuus osiltaan heikko. Tien parantamistyö valmistui vuonna 1975. Vuonna 1992 parannettiin tiestä ensimmäiset 300 m vt 21:n parantamistyön yhteydessä. Viimeisin suunnitteluvaihe käynnistyi vuonna 1996, jolloin suunnittelun tavoitteena oli parantaa tien geometriaa ja rakenteita.

MISU-projektin suunnittelukohteeksi valittiin tieltä 4,7 km pituinen osa alkaen vt 21:n liittymästä Kolarin kirkonkylästä.

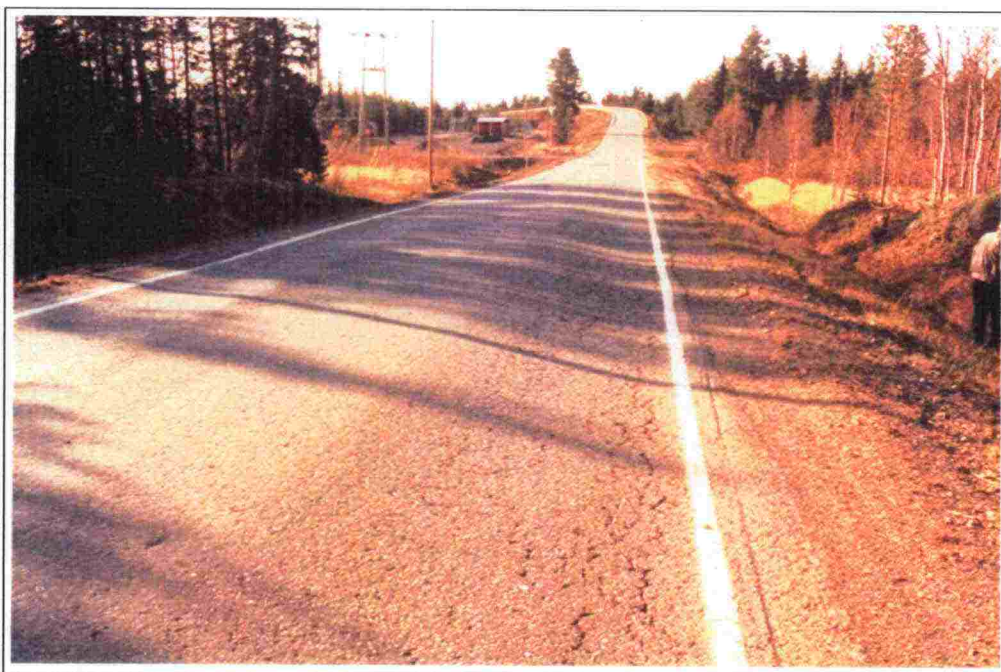
4.4.2 Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus

MISU-projektin tutkimukset aloitettiin syyskesällä 1997, jolloin tiellä suoritettiin maatutkamittaukset 500 MHz:n ja 1,0 GHz:n antenneilla, palvelutasoautomittaukset sekä kantavuusmittaukset. Tiestä oli laadittu maastomalli ja autokairaukset oli tiellä tehty jo aiemmin suunnitteluhankkeen käynnistyessä. Syksyllä 1997 suoritettiin vielä routasondimittaukset. Routanousumittaukset robottitakymetriä hyväksikäyttäen tehtiin kevättälvellä ja kesällä 1997. Mittaustulosten analysointi aloitettiin syksyllä 1997 ja alustavat tulokset esitettiin MISU-projektin väliraportissa (*Tielaitoksen selvityksiä 23/1999*).

Tieanalyysin pohjalta tehtävä mt:n 939 Kolari - Kurtakko tie- ja rakennussuunnittelu aloitettiin kesällä 1998. Hankkeen pääsuunnittelijana toimi rkm Lalli Katermaa. Suunnitteluun kuului tien pysty- ja vaakageometrian suunnittelu, tien poikkileikkaustyyppien suunnittelu, uuden rakenteen kantavuusmitoitus sekä routamitoitus. MISU-projektissa suunniteltu rakenne oli ns. vaihtoehto 2 -rakenne, joka seurasi pääsosan nykyistä tietä ja jota verrattiin alkuperäiseen suunnitelmaluonnokseen.

MISU-projektin vaihtoehdossa tien vaakageometriassa käytettiin mitoitusnopeutena 80 km/h.

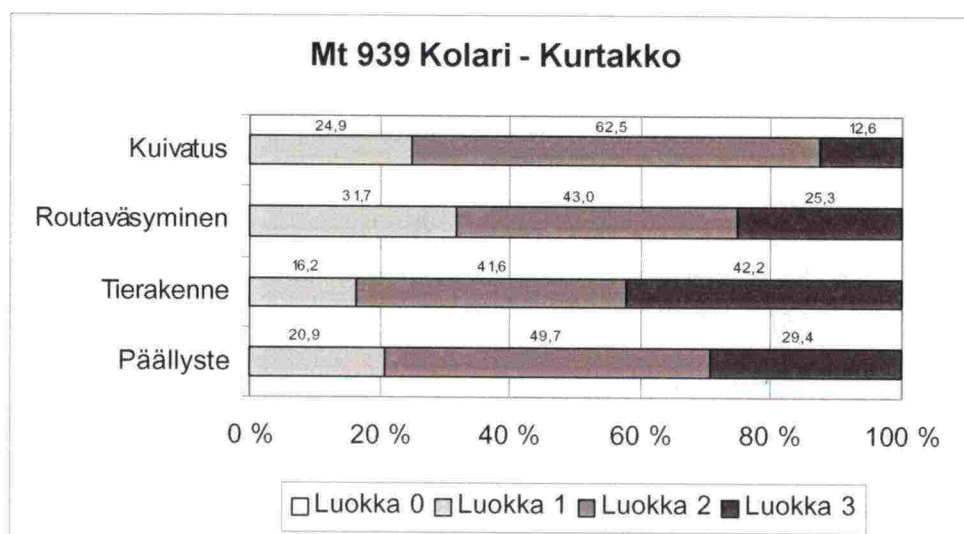
Tie sijaitsee alkuosaltaan hiekkaisella pohjamaalla ja tien kunto on hyvä. Ainoastaan paalun 320 rummun kohdalla pohjamaa on siltiä, mikä näkyy tien vaurioitumisena. Paaluvälillä 500 - 900 tie menee rautatien yli ja sillan tulopenkereet ovat deformatuneet pahasti. Tien pahimmat vauriot sijaitsevat paaluvälillä 1080 - 1240, jossa tie kulkee liejuisella siltillä täyttyneen vanhan meanderoivan jokiuoman yli (*Kuva 25*). Samanlaista liejuista siltiä esiintyy myös paaluväleillä 3100 - 3200 ja 3750 - 3860. Paalulta 1240 alkaen paalulle 1440 saakka tien pohjamaana on hiekka ja tie on suhteellisen hyväkuntoinen. Tämän jälkeen pohjamaa on siltistä hiekkaa paalulle 2300 saakka. Pienen moreenikukkulan jälkeen paalulta 2550 alkaa erittäin huonokuntoinen ja routiva osuus paalulle 2950 saakka, jossa pohjamaa on siltiä ja siltistä hiekkaa. Tien loppuosan pohjamaa on pääosin siHkMr.



Kuva 25. Valokuva paalulta 1120 takaisinpäin. Mt 939 Kolari - Kurtakko

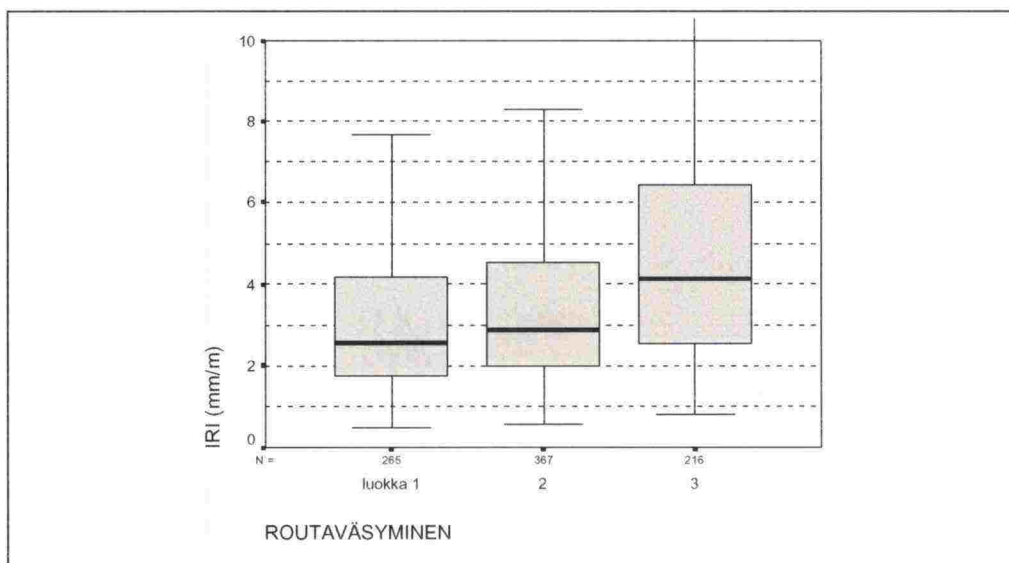
4.4.3 Tutkimustulokset

Yhteenveto mt:n 939 tieanalyysituloksista on esitetty kuvassa 26. Kuva osoittaa, että tie on erittäin huonossa kunnossa, routaväsyminen on luokkaa 3 noin 25 %:n osalla tiestä ja tierakenteiden kuntoluokkaa 3 esiintyy yli 40 %:lla tiejaksosta. Tien keskimääräinen IRI-arvo (talvi) oli 4,2, urasyvyys 25,4 mm, SCI 181, BCI 26 ja E2-arvo 249, jotka myös osoittavat roudan runnelle tietä erittäin pahasti. Päällysteen keskimääräinen paksuus oli 83 mm, kantavan ja jakavan kerroksen paksuus 0,45 m ja rakenteiden kokonaispaksuus 0,90 m.

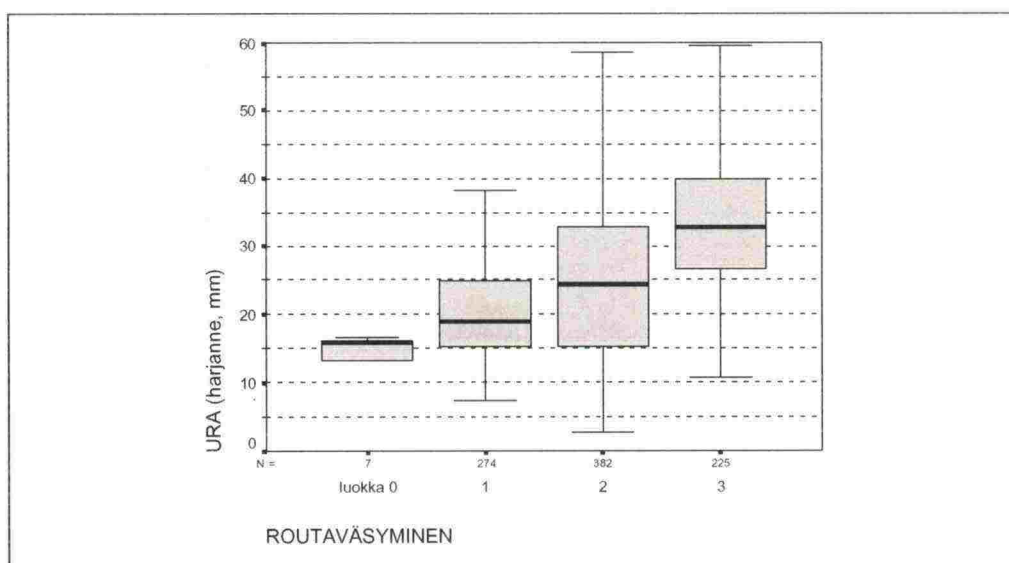


Kuva 26. Yhteenveto tieanalyysituloksista. Mt 939 Kolari - Kurtakko

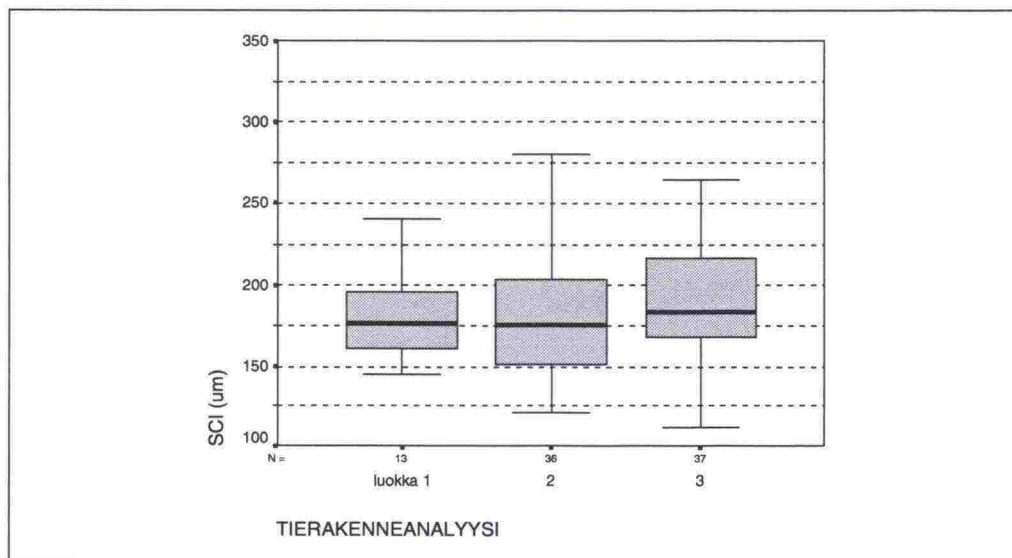
Routaväsymistä kuvaavat hajontakuviot (Kuva 27, Kuva 28) osoittavat, että vaikkakin tiessä esiintyy runsaasti epätasaisuutta, on roudan sulamisvaiheen aikainen rakenteen deformaatio suurin syy tien huonoon kuntoon. Kuvat 29 ja 30 osoittavat, että kesällä tehty kantavuusmittaukset eivät kuvaa erityisesti tien kuntoa. Kuva 31 tierakenteiden kokonaispaksuuksien ja tierakenteiden kunnan suhteesta on tuloksiltaan sikäli nurinkurinen, että keskimäärin parhaimmassa kunnossa ovat ohuimmat tierakenteet. Tämä selittyy kuitenkin sillä, että ohuet tierakenteet sijaitsevat routimattoman pohjamaan teiosilla.



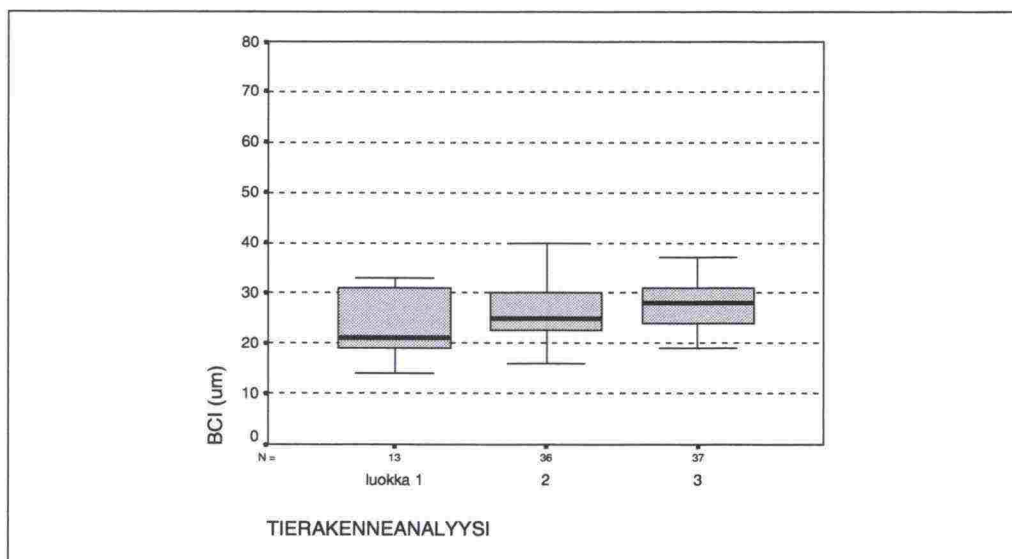
Kuva 27. 5m-IRI -arvon vaihtelu routaväsymisen eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko



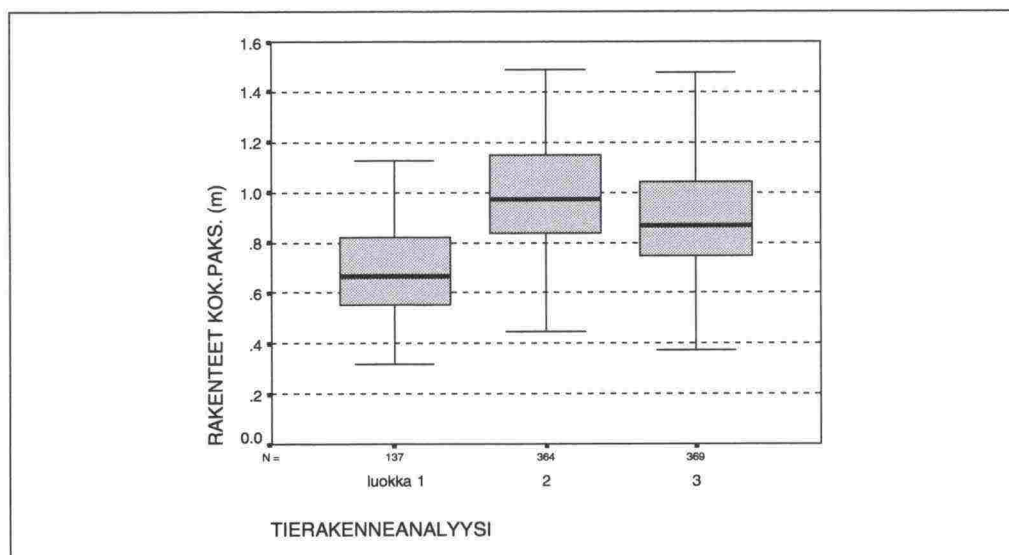
Kuva 28. Harjanneura-arvon vaihtelu routaväsymisen eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko



Kuva 29. SCI-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko



Kuva 30. BCI-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko



Kuva 31. Rakenteiden kokonaispaksuuden vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko

4.4.4 Tien korjaussuunnitelma

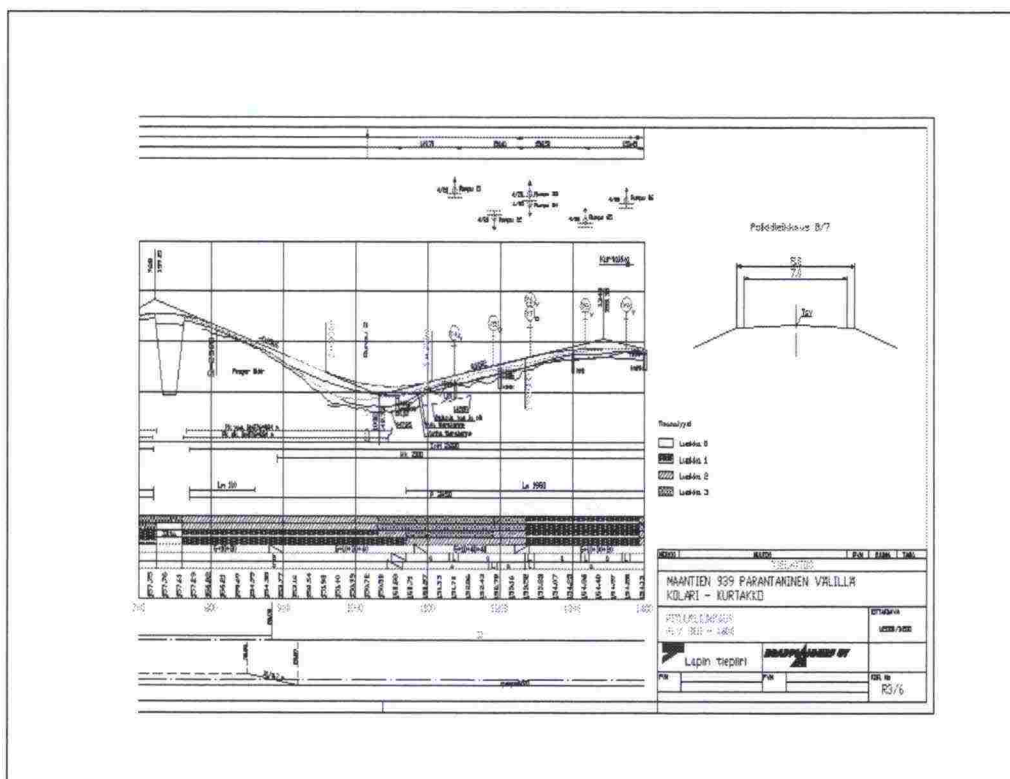
Tien kunnostussuunnitelmassa maatumkadasta tulkitut kerrospaksuudet sekä tieanalyysitiedot siirrettiin EasyWay-ohjelmistoon, jolla vaaka- ja pystygeometrian suunnittelu tehtiin. Suunnitelma-asiakirjat tulostettiin AutoCad-ohjelmistolla (Kuva 32). Tierakenteet mitoitettiin APAS-ohjelmiston avulla.

Mtn 939 Kolari - Kurtakko paaluvälille 260 - 4700 mitoitusnopeutena MISU-tekniikalla tehdyllä VE2-suunnitelmalla käytettiin 80 km/h, joka täyttää tieluokan vaatimukset. Kaarteissa käytetty minimisäde oli 500 m, kun tieluokan minimisäde on 400 m. Suurin suuntauksen muutos tehtiin paaluvälille 3200 - 3500, johon suunniteltiin kokonaan uusi tie. Pienempiä vaakageometrian muutoksia tehtiin paaluväleille 1550 - 1650 ja 4100 - 4200. Tiessä ei ollut merkittäviä pystygeometriapuutteita ja ohitusnäkemien takia jouduttiin syventämään leikkausta vain paalulla 2400.

Tien päällysrakenteen perusratkaisuksi valittiin päällyste AB 20/120, jonka alla on 100 mm:n vahvuinen bitumilla sidottu kantava kerros. Tässä kerroksessa voidaan käyttää vanhalta tieltä jyrskyä ÖS-mursketta, jolloin lisämurskeen tarve vähenee noin 50 %. Yhdistetty sitomaton kantava ja jakava kerros rakennetaan 0 - 55 mm sora- tai kalliomurskeesta. Suodatinkerrokseen käytetään hiekkaa. Tien mitoitus suoritettiin APAS-ohjelmistolla, mitoituskäsi oli 20 vuotta ja mitoitettavana rakenteena käytettiin sidottujen kerrosten alapuolella olevien sitomattomien kerrosten paksuutta. Mitoituksessa tuli selvästi esille tien routaväsyminen ja määräävänä tekijänä mitoituksessa olivat tierakenteiden ja pohjamaan rajanpinnan pystyjännitykset.

Kohteet, joissa routaväsyminen oli luokkaa 3, suunniteltiin tapauskohtaisesti erikseen ja ratkaisuna käytettiin ensisijaisesti tasauksen nostoa, jolloin tien pystygeometria saatiin paremmaksi. Näin meneteltiin esimerkiksi paaluvä-

lillä 1800 - 2100. Jos tasauksen nostoon ei ollut mahdollisuutta, korjaustoi-
menpiteenä käytettiin massanvaihtoa. Routavaurioiden korjaussuunnittelus-
sa kiinnitettiin huomiota myös kuivatuksen parantamiseen; kahteen sivu-
kaltevaan routakohteeseen suunniteltiin syväsalaojitus.



Kuva 32. AutoCad-ohjelmistolla piirretty pituusleikkaus parantamissuunnitelmasta. Tierakennekerrokset ja tieanalyysitulokset on siirretty Road Doctor -ohjelmasta EasyWay-suunnitteluohjelmistoon. Mt 939 Kolari - Kurtakko

4.5 Mt 1471 Mäntsälä - Oitti, tieosa 5, pl. 0 - 4737

4.5.1 Yleistä

Maantie 1471 Mäntsälä - Oitti on sijainnut samalla paikalla koko sodanjäl-
keisen ajan, aluksi kapeana kärrytienä, joka myöhemmin parannettiin sora-
tieksi ja edelleen päällystettiin öljysoralla. Viimeisin rakenteen parantaminen
ja tien leventäminen on tehty 1980-luvun alussa, jolloin tien tasausviivaa
nostettiin noin 0,5 metriä. Vanha päällyste ja tierakenne on pääosin säily-
tetty eheänä tien runkona.

Tien keskimääräinen vuorokausiliikenne on 625 ajon./vrk, josta raskaan
liikenteen osuus on 8 %. Tien päällysteen vauriosumman keskiarvo on 75
 $\text{m}^2 / 100 \text{ m}$ ja vaurionopeuskerroin 0,9. Vaurionopeus on luokassa II (I =
hidas, II = melko hidas, III = nopeasti vaurioituva). Tien vauriosummaha-
jonta on suuri. Tien päällysteen vauriosumman toimenpideraja on 80 $\text{m}^2 /$

100 m. Tien vauriot on inventoitu v. 1998. Tie on päällystetty v. 1989 öljysoralla (tierekisterin mukaan 100 kg/m^2), päällysteleveys on 7,0 m.

4.5.2 Tehdyt tutkimukset ja tien yleiskuvaus

Maantielle 1471 tehtiin ensimmäinen maatulkuutus ja alustava tieanalyysi jo vuonna 1997. Tuolloin tieanalyysi tehtiin kuitenkin pelkästään 500 MHz:n antennin maatulutulosten perusteella. MISU-projektia varten mitaukset uusittiin vuonna 1998, jolloin tie mitattiin sekä 500 MHz:n että 1,0 GHz:n antenneilla ja lisäksi PTM-autolla ja pudotuspainolaitteella. Tiestä laadittiin myös maastomalli, jolloin maatulutulokinnassa voitiin käyttää korkeustietoja. Kerrospaksuuksien tulokinnan ja tieanalyysin jälkeen tutkimustulokset siirrettiin EasyWay-ohjelmistoon, jolla rakenteen parantamissuunnitelma tehtiin. Parannettava rakenne mitoitettiin APAS-ohjelmistolla.

Tien pohjamaa paaluväleillä 0 - 400, 550 - 700, 1150 - 1500, 1600 - 2700 ja 2850 - 4737 on savea tai silttiä, muilla tieosilla hiekkamoreenia.

Tien vauriosumma koostuu pääasiassa verkko- ja pituushalkeamista. Tie on vaurioitumisesta huolimatta melko tasainen. Pituushalkeamien syntyyn ovat vaikuttaneet painumaerot pehmeällä savi- ja silttimaaperällä sekä routivuuserot tien poikkisuunnassa. Useiden rumpujen kohdille syntyy talvisin routaheittoja, koska routakiiloja ei ole rakennettu tai ne ovat liian lyhyitä.

4.5.3 Tutkimustulokset

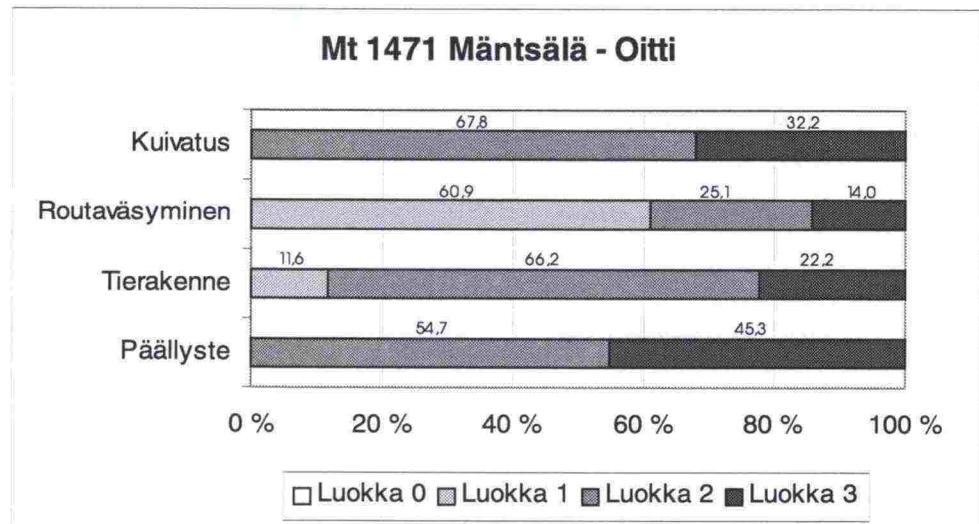
Maantien 1471 Mäntsälä - Oitti tieosan 5 päällysteen keskipaksuus oli 75 mm, kantavaa kerrosta oli maatulutulosten perusteella keskimäärin vain 80 mm ja routimattoman päällysrakenteen kokonaispaksuus oli 0,47 m.

Yhteenveto Mäntsälä - Oitti maantien tieanalyysituloksista on esitetty *kuva 33*. Tien kuntoa kuvaavien indeksien keskiarvot ovat: 5m-IRI 2,5 mm/m, harjanneura 15,9 mm, SCI 204, BCI 45 ja E2 239.

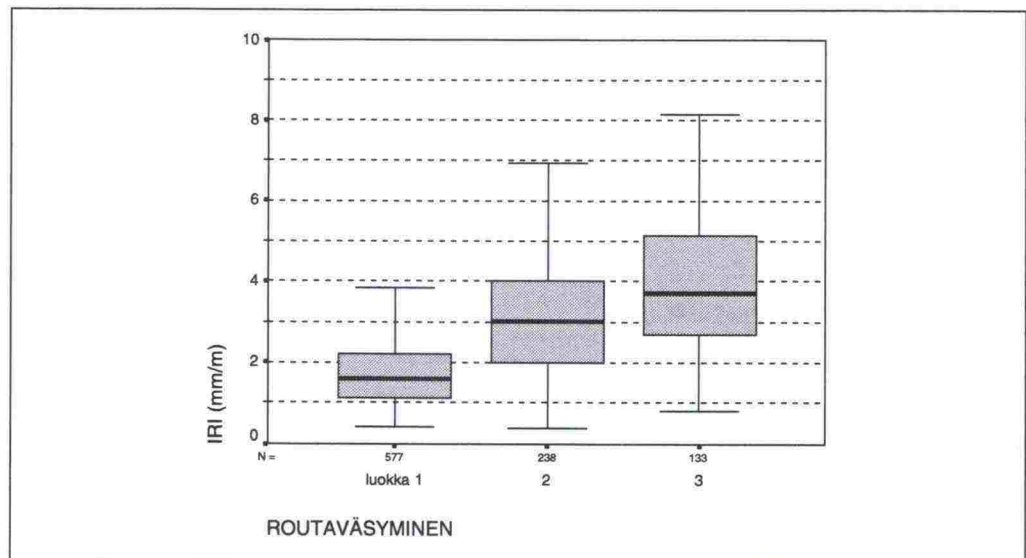
Hajontakuviot (*Kuva 34, Kuva 35*) osoittavat myös, että Uudenmaan routavauriot näkyvät IRI-arvoina, mutta sulamisvaiheen aikaista deformaatiota ei näy niin selvästi kuin pohjoisemmissa koekohteissa. Korkeat SCI- ja BCI-arvot (*Kuva 36, Kuva 37*) osoittavat, että tien ongelmana on toisaalta päällysrakenteen yläosan heikot materiaalit (takaisinlaskennassa E-moduulit olivat noin 150) ja toisaalta savialueiden rakenteissa hieman liian ohut kokonaiskerrospaksuus. Routaväsymisen luokkaa 0 - 1 on 61 % tien pituudesta ja moreenimäkiin liittyviä vakavia routavaurioita tiellä esiintyy vain 14,0 % matkalla, mikä on kuitenkin prosenttiosuutena niin suuri, että tien parantamistoimenpiteet voidaan luokitella raskaaksi rakenteen parantamiseksi.

Korrelaatiodiagrammit rakennekerrosten kokonaispaksuuksien suhteesta IRI- ja ura-arvoihin (*Kuva 38, Kuva 39*) antavat aiheen otaksua, että tässä

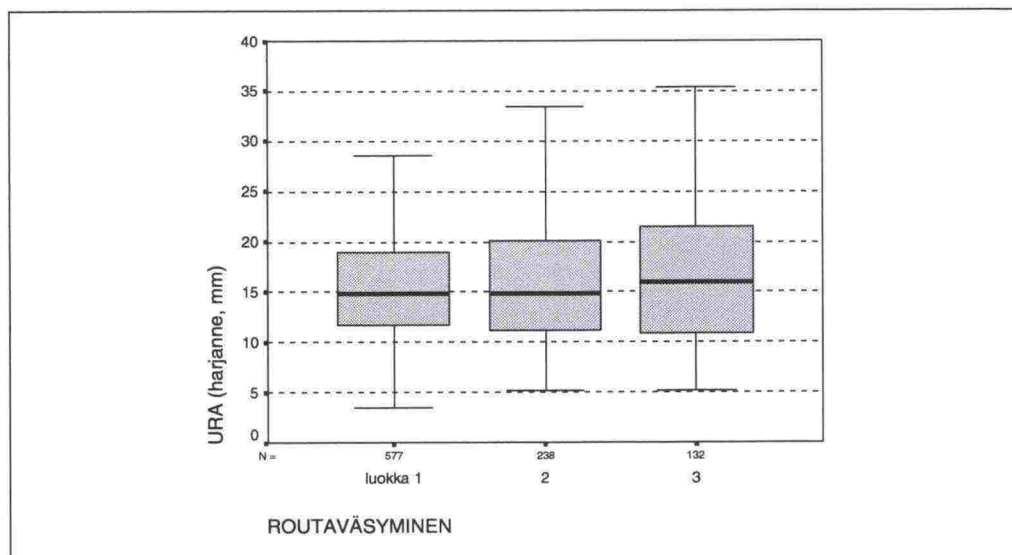
kohteessa routimattomien rakenteiden kokonaispaksuuden kasvattamisella 0,5 m:stä 0,7 m:iin voitaisiin välttää suurin osa tien ongelmista. Tämä on yhtenä syynä sille, että parantamissuunnitelmassa stabiloinnin lisäksi heikompiin kohteisiin on esitetty lisättäväksi mursketta.



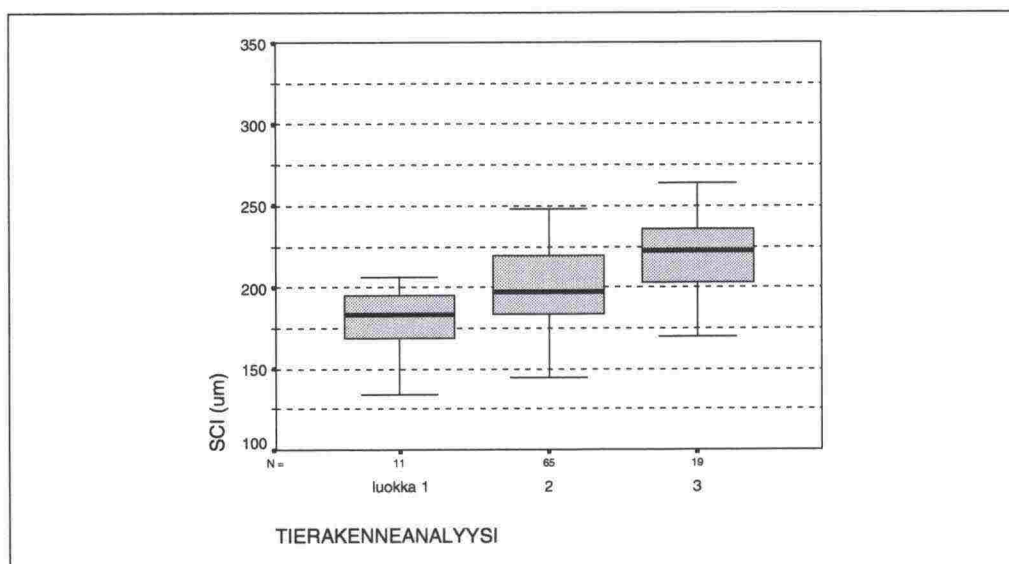
Kuva 33. Yhteenveto tieanalyysituloksista. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti



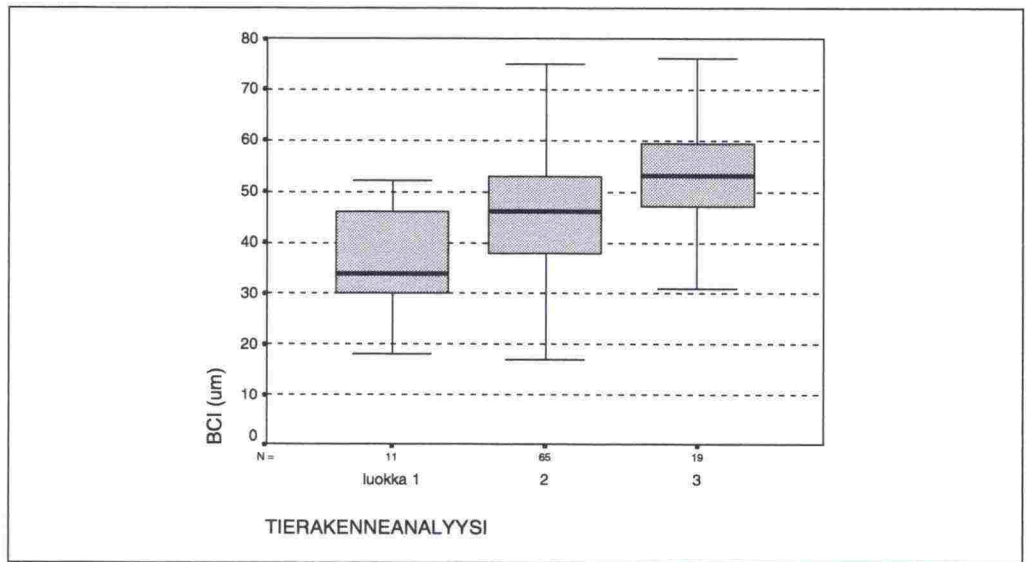
Kuva 34. 5m-IRI -arvon vaihtelu routaväsymisen eri luokissa. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti



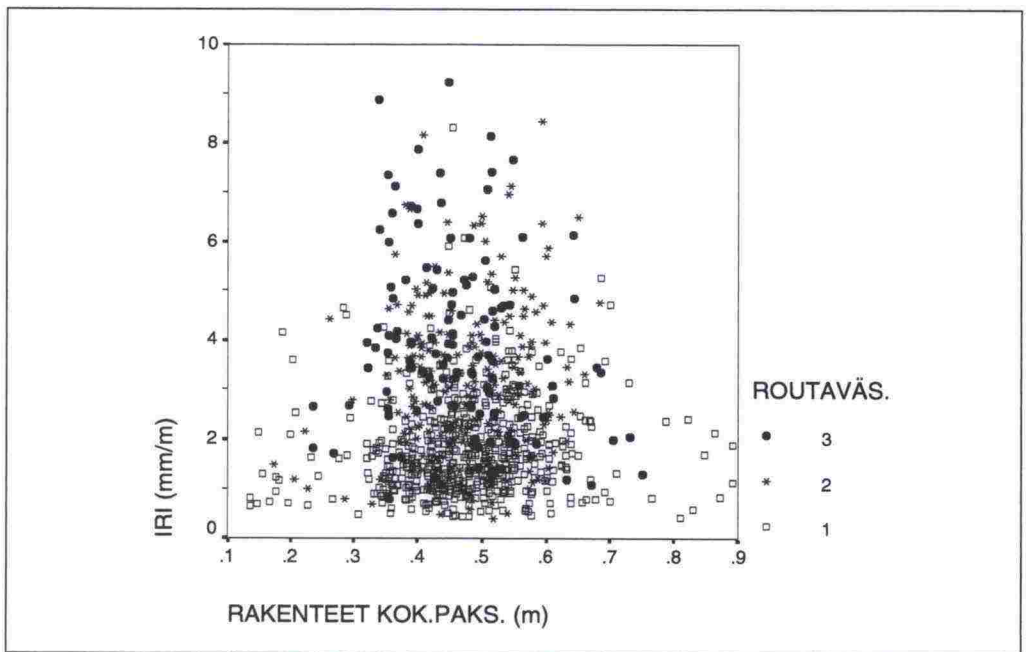
Kuva 35. Harjanneura-arvon vaihtelu routaväsymisen eri luokissa. Mt 1471
Mäntsälä - Oitti



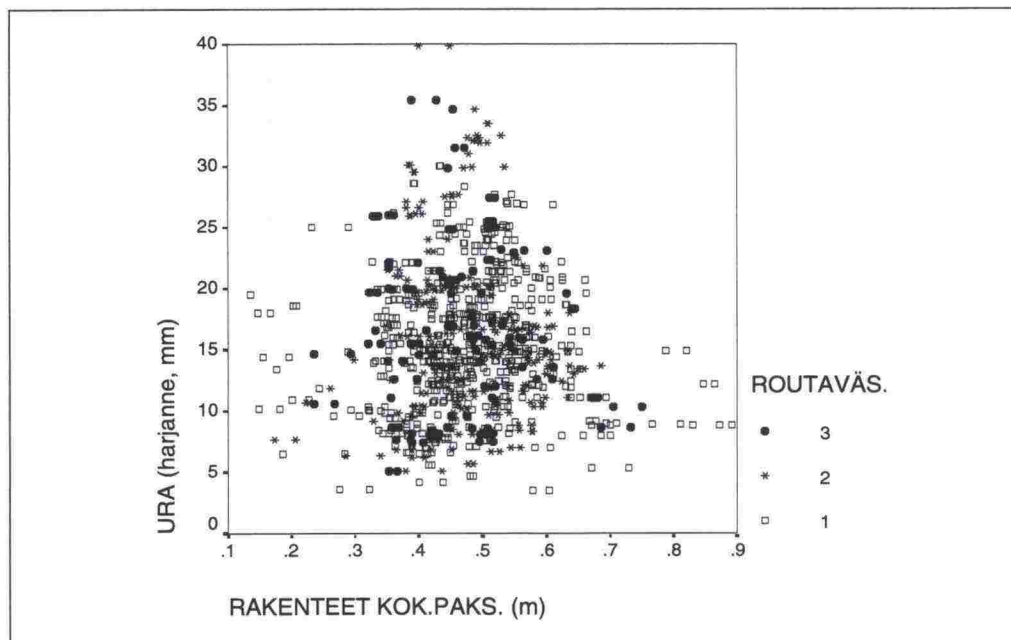
Kuva 36. SCI-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 1471
Mäntsälä - Oitti



Kuva 37. BCI-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti



Kuva 38. Rakenteiden kokonaispaksuuden ja IRI-arvon välinen riippuvuus routaväsymisen eri luokissa. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti



Kuva 39. Rakenteiden kokonaispaksuuden ja harjanneura-arvon välinen riippuvuus routaväsymisen eri luokissa. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti

4.5.4 Tien korjaussuunnitelma

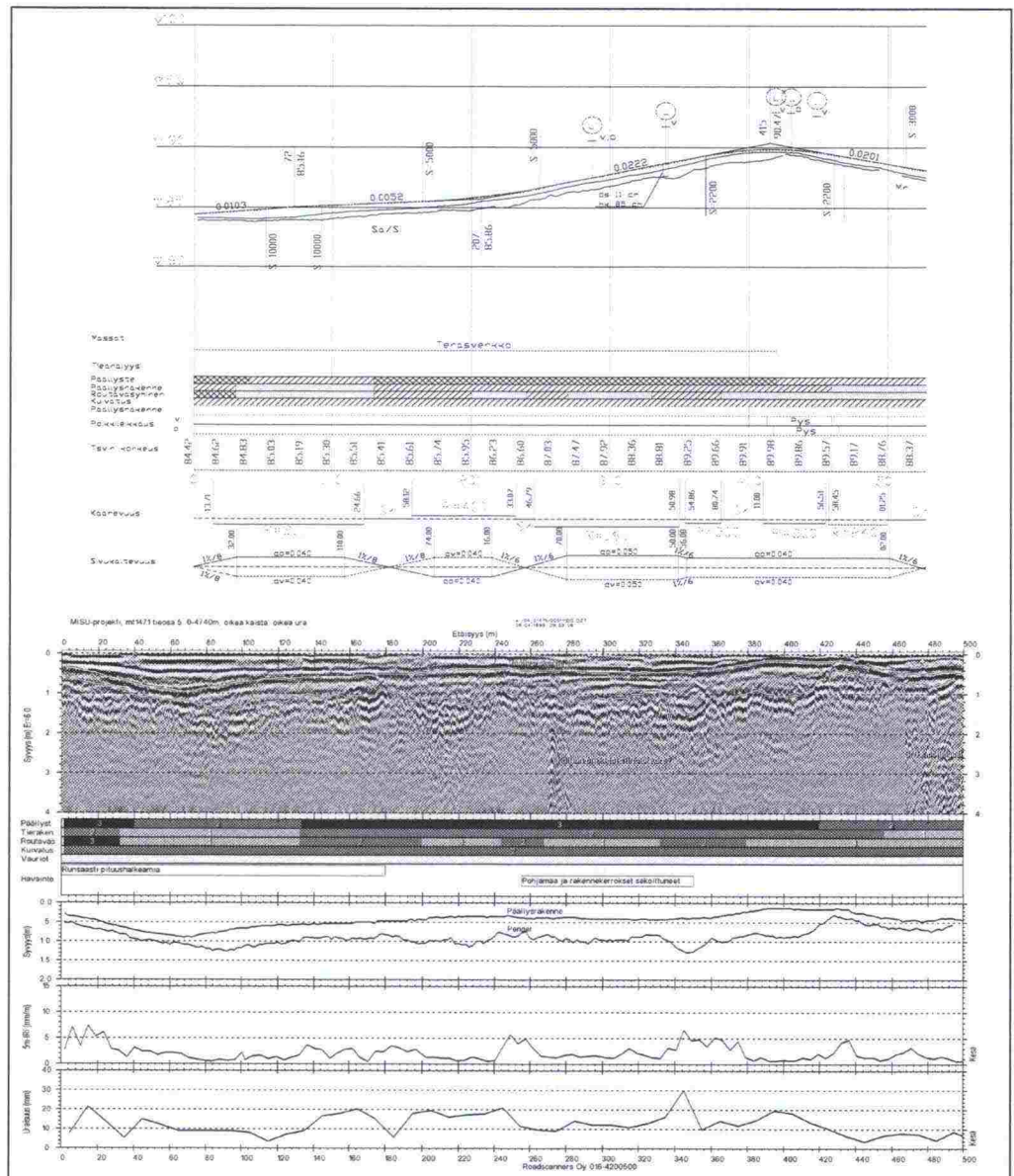
Uusi tierakenne on mitoitettu APAS-mitoitusohjelmistolla. Koko tieosalle suunniteltiin päällysteeksi PAB-V 40 mm sekä päällysrakenteen yläosaan bitumistabilointi 100 - 130 mm. Kantavan kerroksen mursketta lisätään noin 50 - 100 mm niille tieosille, missä nykyinen päällysrakenne on ohut ja kantavuudeltaan heikko.

Pituushalkeamia sisältävien routavauriokohteiden korjaamiseksi suunniteltiin käytettäväksi teräsverkkoa, jonka tavoitteena on myös parantaa tien reunaosan stabiliteettia. Verkko asennetaan siten, että stabiloitavan kerroksen ja verkon väliin jää noin 20 cm:n suojakerros.

Paaluvälillä 1560 - 1640 olevaan routavauriokohteeseen mitoitettiin uusi päällysrakenne. Niillä tieosilla, joihin on suunniteltu uusi päällysrakenne tai teräsverkko, poistetaan nykyinen öljysorapäällyste jyrsimällä. Samoin niillä tieosuksilla, joilla nykyisen öljysorapäällysteen paksuus on yli 10 cm, on syytä tehdä päällysteen osittainen jyrshintä. Materiaali käytetään tienpinnan muotoiluun, stabiloitavaan kerrokseen tai päällystemateriaaliksi.

Osa nykyisistä rummuista on niin huonokuntoisia, että ne joudutaan uusimaan. Rummuille rakennetaan uusimisen yhteydessä siirtymäkiilat. Myös niille nykyisille rummuille, joilla routiminen aiheuttaa epätasaisuutta tien pintaan (korkeat IRI-arvot), esitetään suunnitelmassa rakennettavaksi siirtymäkiilat. Kuivatuksen toimivuutta tulee parantaa ojien perkauksella ja syventämisellä niillä tieosilla, missä kuivatus on luokiteltu tieanalyysissä luokkaan 3.

Sekä tien vaaka- että pystygeometria on suunniteltu nykyisen tien suuntausta noudattaen. Tien poikkikaltevuudet on merkitty suunnitelmaan. Poikkikaltevuuden maksimiarvona on käytetty 5 %. Kuvassa 40 on esitetty tieanalyysi ja parantamissuunnitelma paaluväliltä 0 - 500.

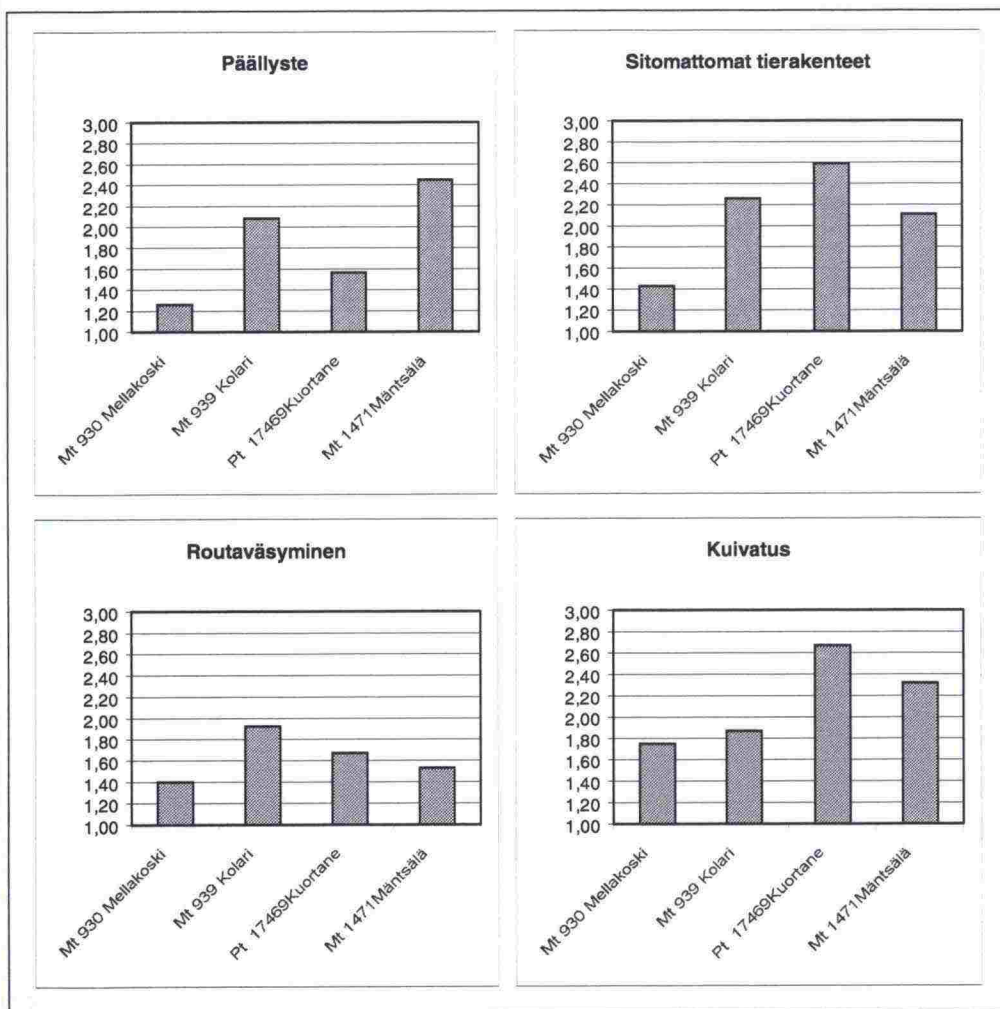


Kuva 40. Tieanalyysi ja pituusleikkaus. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti, paaluväli 0 - 500

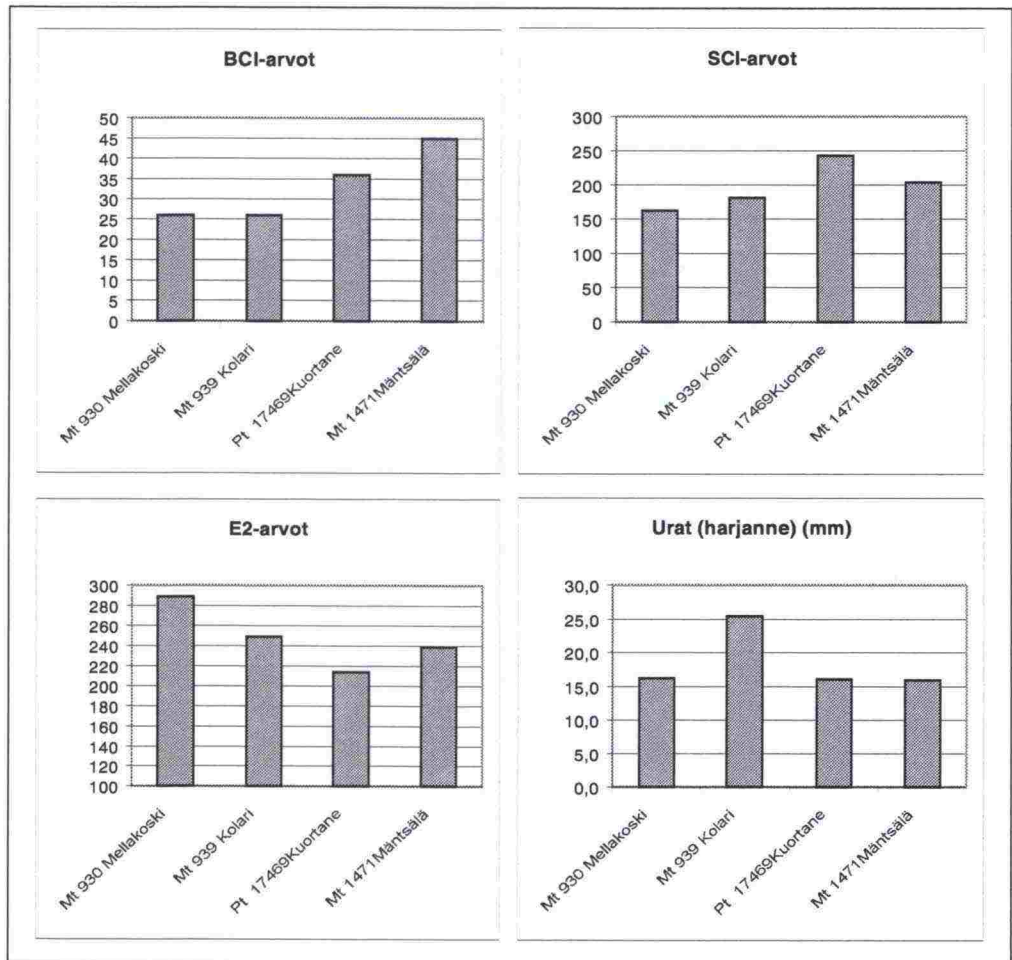
4.6 Tieanalyysitulosten vertailua

Kuvissa 41 ja 42 on vertailtu muutamien keskeisten parametrien keskiarvoja eri MISU-tutkimuskohteilta. Kantavuusmittaustulosten vertailusta (Kuva 42) voidaan havaita, että Uudenmaan ja Vaasan eli ns. savipiirien BCI-arvot ovat huomattavasti korkeammat kuin Lapin tiepiirin arvot ja toisaalta myös SCI-arvot ovat suurempia kuin Lapin arvot, mikä osoittaa että päällysrakenteen yläosa on heikompi näissä kohteissa Lappiin verrattuna.

Jos kuitenkin tarkastellaan tien toiminnallista kuntoa, eli IRI- ja ura-arvoja, ovat Lapin tiepiirien kohteet selvästi heikompia kuin Vaasan ja Uudenmaan kohteet. Tämä todistaa sen, että tien routaväsyminen on pohjoisessa merkittävin ongelmien aiheuttaja ja että tien toiminnallista kuntoa ei voida selvittää kantavuusmittausten avulla, jos routaolosuhteita ei oteta huomioon. Kuva 42 osoittaa myös, että vielä nykyisinkin käytössä olevat kantavuuspuutteita kuvaavat E2-arvot eivät kerro mitään tien todellisesta kunnosta.



Kuva 41. Tieanalyysitulosten keskiarvot MISU-koekohteista



Kuva 42. Tien kantavuutta kuvaavien parametrien ja uraisuuden keskiarvoja MISU-koekohteista

4.7 Pohjamaan routivuusluokittelu ja routamitoitus

4.7.1 Yleistä

Tierakenteen routamitoituksen lähtökohtana on selvittää, onko pohjamaa routiva vai ei. Jos pohjamaa osoittautuu routivaksi, tulee määrittää tien routaolosuhteet, minkä pohjalta määritetään tien routamitoitus. Jos pohjamaa on routimatonta, parannettavalle tielle tehdään normaali kantavuusmitoitus. Tielaitoksen routamitoitus on perustunut taulukoihin, mutta viime aikoina on alettu käyttää yhä enemmän segregaatipotentiaaliin (SP) eli routimiskertoimeen perustuvaa mitoitusta. Jos tätä mitoitustmenetelmää käytetään, on tilaajan määritettävä tiellä suurin sallittava routanousu. Sekä Tielaitoksen routamitoitusohjeeseen että segregaatipotentiaaliin perustuvat menetelmät ovat käytännössä osoittautuneet vaikeiksi, kalliiksi ja hitaiksi suorittaa. Edellisessä tarvitaan pohjamaasta runsaasti rakeisuusnäytteitä ja lisäksi pohjaveden pinta on määritettävä pohjavesiputkien avulla. Jälkimmäisessä segregaatipotentiaali on määritetty pääasiassa laboratoriossa tehtävillä routanousukokeilla tai tarkoilla routanousumittauksilla.

Tässä tutkimuksessa testattiin mt 939 Kolari - Kurtakko -kohteessa, miten uusia tutkimusmenetelmiä voitaisiin soveltaa pohjamaan routivuusluokitteluun ja routamitoitukseen. Valitut menetelmät olivat segregatiopotentialin määrittäminen robottitakymetrimittauksen ja maatulkuotauksen avulla sekä routasondimittauksen käyttö pohjamaan routaluokitteluun.

4.7.2 Pohjamaan segregatiopotentialin määrittäminen robottitakymetrin ja maatulutulosten perusteella

MISU-tekniikan soveltuvuutta routamitoitukseen tarvittavan segregatiopotentialin laskemiseen kokeiltiin maantiellä 939 Kolari - Kurtakko paaluvälillä 1175 - 2637. Segregatiopotentiali määritettiin seuraavalla tavalla:

1. Keväällä ja kesällä suoritettujen robottitakymetrimittauksien perusteella laskettiin routanousun määrä.
2. Maatulkamittauksen perusteella arvioitiin routimattomien rakennekerrosten kokonaispaksuus.
3. Määritettiin alueen pakkassumma.
4. Laskettiin segregatiopotentiali *kaavan 1* mukaisesti (*Saarelainen 1997*).

$$SP = (50h / (10\sqrt{F} - Z_0)) - 1,8, \quad (1)$$

missä

SP on	segregatiopotentiali eli routimiskerroin [mm^2/Kh]
F	pakkasmäärä [Kh]
$10\sqrt{F}$	pakkasmäärään perustuva likiarvo routan syvyydelle [mm]
Z_0	päällysrakenteen paksuus [mm]
h	routanousu [mm]

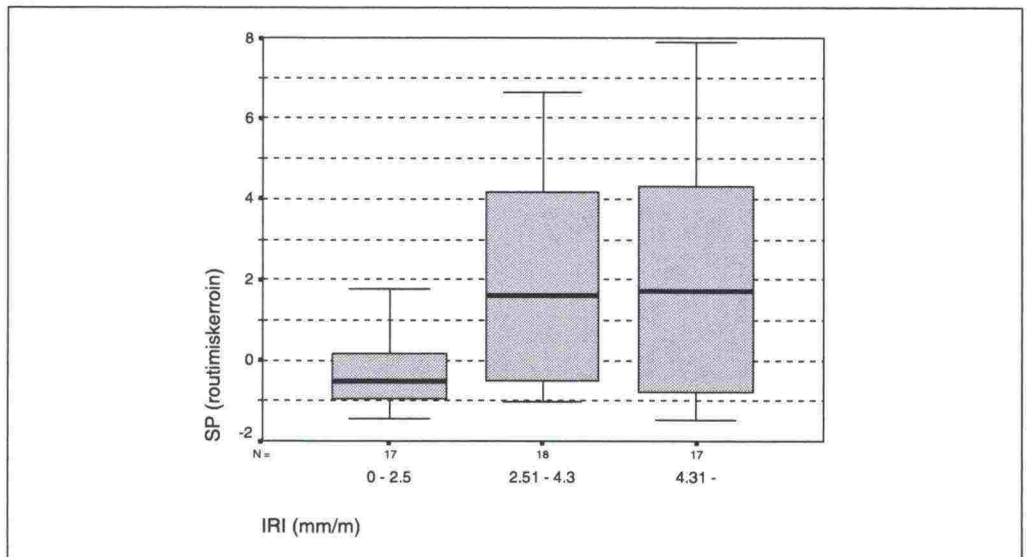
Tarkan routanousun määrittelyssä oli kuitenkin ongelmia, sillä robottitakymetrin talvi- ja kesämittauksien mittauspisteet eivät aina olleet lähellä toisiaan ja siksi routanousu arvioitiin vain pisteistä, joiden koordinaatit olivat lähempänä kuin 0,6 m toisiaan. Useista virhelähteistä johtuen routanousun mittauksen tarkkuus tässä kokeessa oli noin ± 30 mm.

Saarelaisen kaava (1) on alun perin laadittu päällysrakenteen paksuuden määrittämiseen SP:n ollessa tunnettu. Laadinnassa käytetyn empiirisen aineiston laskennallisessa käsittelyssä on erotettu pohjamaan luonnollisesta kosteustilasta aiheutuva tilavuudenmuutos ja jäätymisrintamaan virtaavan lisäveden jäätymisestä aiheutuva tilavuudenmuutos, jonka määrää routimiskerroin SP kuvaa. Koska kaava perustuu empiiriseen aineistoon ja sisältää yksinkertaisia oletuksia, sen antamassa tuloksessa on olemassa jokin virhemarginaali.

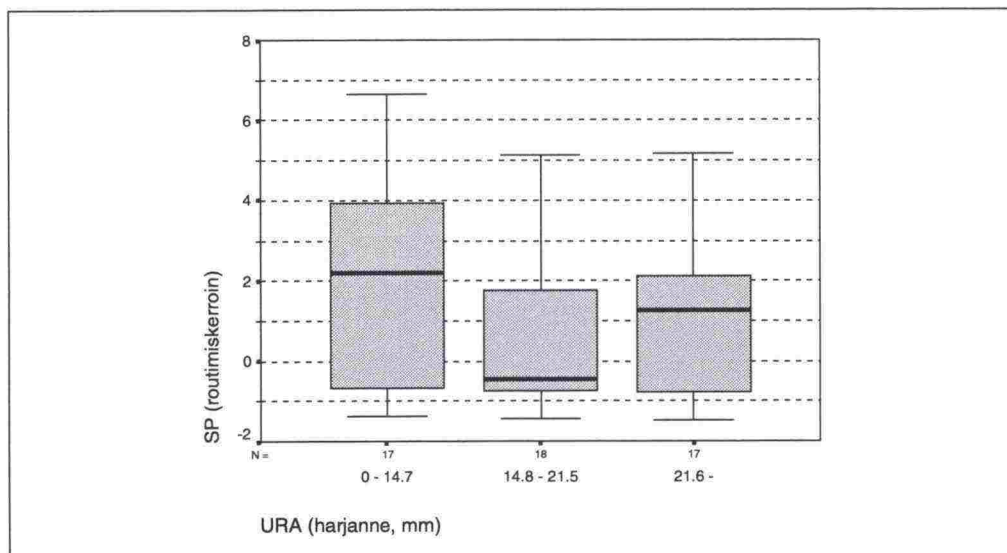
Tämän raportin tarkastelussa Saarelaisen kaavaa käytetään alkuperäisestä poikkeavaan tarkoitukseen eli pohjamaan routimiskertoimen SP arviointiin.

Tästä ja edellisissä kappaleissa esitetyistä syistä johtuen laskenta antaa SP:lle myös negatiivisia arvoja, mikä ei ole teorian mukaan mahdollista. Tässä raportissa asiaa tarkastellaan enemmänkin ilmiön ja sen käyttäytymisen kuin absoluuttisten lukuarvojen kannalta, joten esiintyviä negatiivisia SP-arvoja ei ole manipuloitu, koska eri virhelähteiden oletetaan esiintyvän tasaisesti koko havaintojoukossa.

Hajontakuissa (Kuva 43, Kuva 44) on esitetty SP-arvon suhdetta mittauskohteiden IRI- ja ura-arvoihin. Kuvasta 43 voidaan todeta, että tasaisilla teillä SP-arvo on hyvin alhainen tai nolla eli pohjamaa ei roudi. Tien epätasaisuuden lisääntyessä SP saa selvästi positiivisia arvoja ja hajonta kasvaa merkittävästi. Näin pohjamaan routiminen näkyy lisääntyneenä epätasaisuutena, mutta suoraa riippuvuutta ei ole havaittavissa. SP-arvoilla ei näytä olevan yhteyttä ura-arvoihin (Kuva 44). Molempia ilmiöitä voidaan kuitenkin selittää rakennekerrosten paksuuksien vaikutuksella.

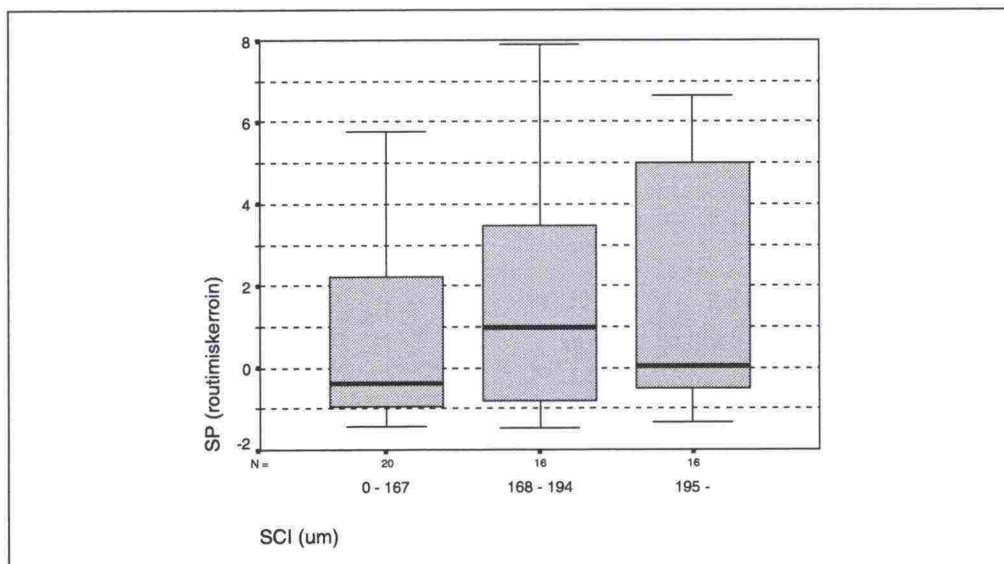


Kuva 43. Routimiskertoimen vaihtelu 5m-IRI -arvon eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko

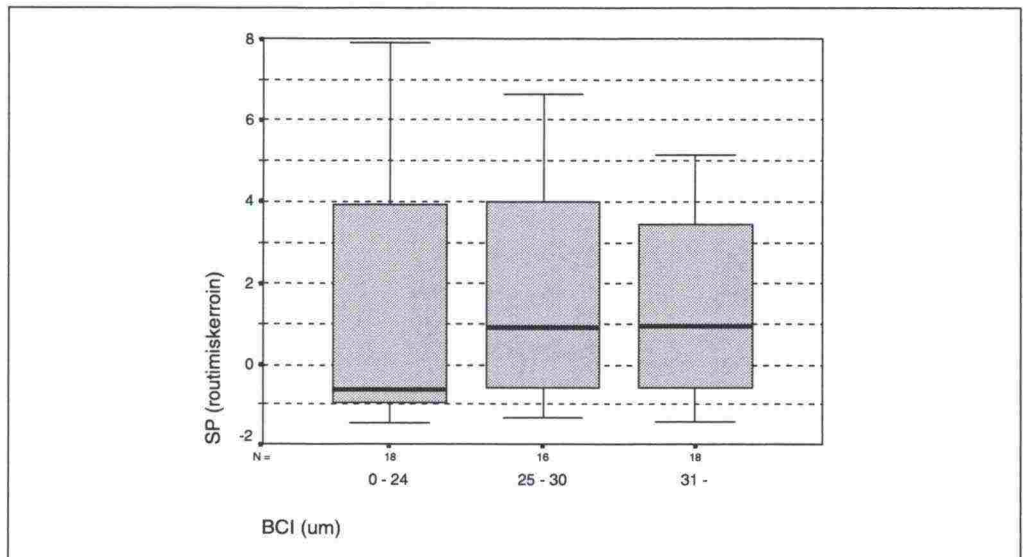


Kuva 44. Routimiskertoimen vaihtelu harjanneura-arvon eri luokissa. Mt 939 Kolari – Kurtakko

Kuvissa 45 ja 46 on verrattu SP-arvoa kantavuusmittaustuloksista laskettuihin SCI- ja BCI-arvoihin. Kuvat osoittavat, että vaikkakin tuloksissa on hajontaa runsaasti, on pohjamaan BCI suurempi korkeilla SP-arvoilla. Sen sijaan SCI-arvoihin SP-arvoilla ei näyttänyt olevan selkeää kytkentää, vaikka tieanalyysitulosten perusteella sellaista olisi voitu olettaa. Aineistoa tarkastellessa tulee kuitenkin muistaa otannan pienuus.



Kuva 45. Routimiskertoimen vaihtelu SCI-arvon eri luokissa. Mt 939 Kolari – Kurtakko



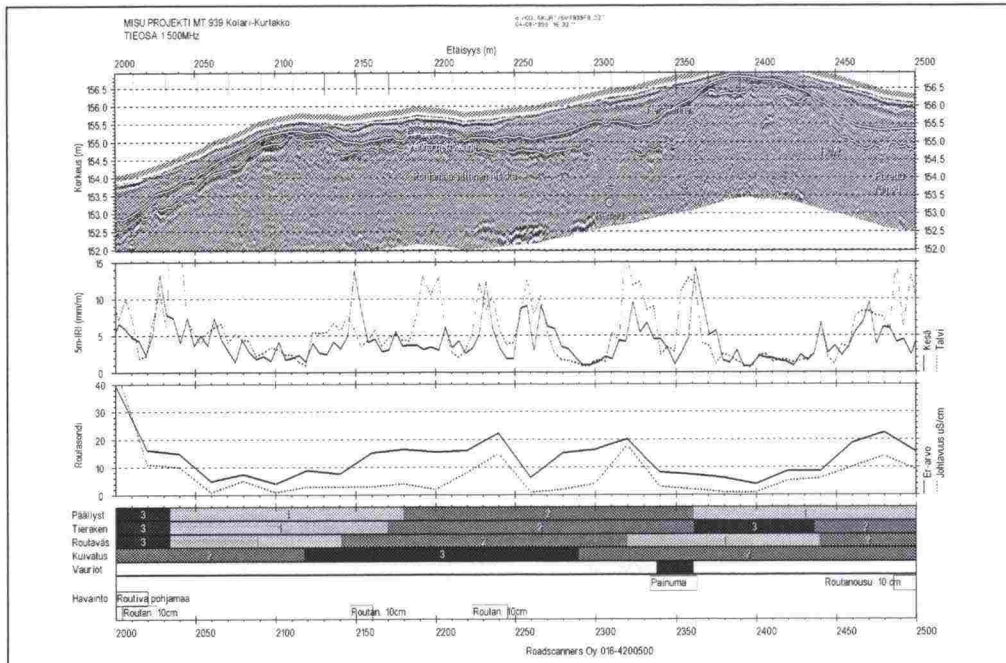
Kuva 46. Routimiskertoimen vaihtelu BCI-arvon eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko

4.7.3 Routasondimittaukset ja niiden käyttö pohjamaan routivuuden määrittämisessä ja segregatiopotentiaalin laskeamisessa

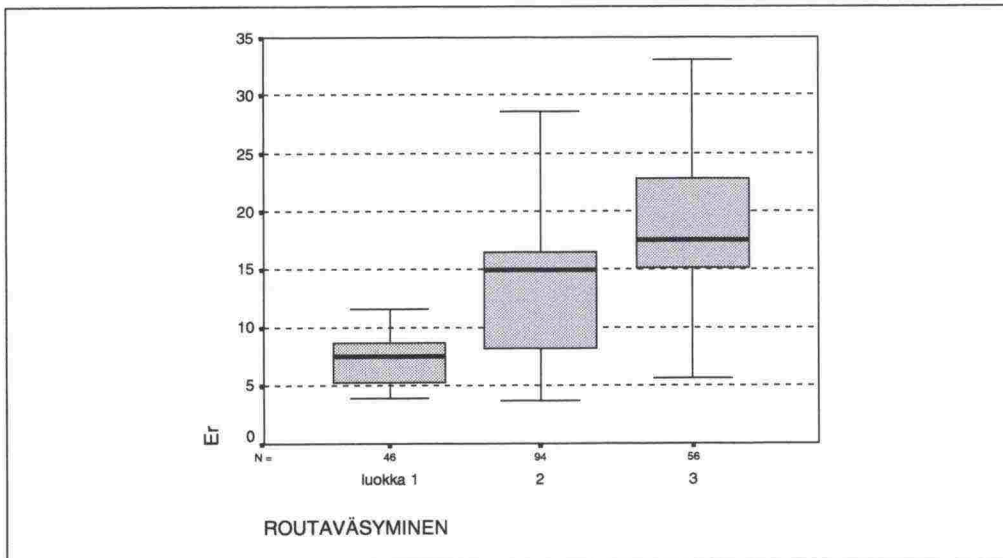
Maantien 939 pohjamaan routivuutta selvitettiin niinkään routasondimittausten avulla. Pohjamaan dielektrisyys ja sähkönjohtokyky mitattiin Percometer-routasondilla tien oikean puolisen ojan ulkoluiskasta 20 m:n välein ja samalla kirjattiin havainnot pohjamaan laadusta. Kahden miehen mittausryhmä tekee tällaisia routasondimittauksia yhden työvuoron aikana noin 6 - 8 km. Ulkoluiskasta tehdyn mittauksen ongelmana on se, että saadut mitaustulokset eivät aina edusta tien alla olevia olosuhteita. Näin on tilanne etenkin kaarteissa ja mäkien reunoissa, joissa pohjamaalarajat leikkaavat vinosti tietä. Ongelmana voidaan pitää myös sitä, että routasondilla ojan ulkoluiskasta mitatut turve- ja liejukerrostumat on usein kaivettu pois tien alta, jolloin olosuhteet eivät vastaa toisiaan. Tämä tilanne voidaan kuitenkin todeta maatutkadatasta.

Mittausten tulokset siirrettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, josta tiedot luettiin myös Road Doctor -ohjelmistoon, ja niitä tarkasteltiin yhdessä maatutkadatan ja muiden mittaustulosten kanssa. Kuvassa 47 on esitetty mittaustulokset yhdessä maatutkatulosten ja IRI-arvojen kanssa. Kuvasta voidaan havaita, että korkeat dielektrisyys- ja sähkönjohtokykyarvot näyttävät korreloivan hyvin tien vaurioiden kanssa. Kuvassa 48 on tarkasteltu dielektrisyysarvojen suhdetta routaväsymiseen. Kuvasta voidaan havaita, että aikaisemmin esitetty dielektrisyysarvoihin perustuva pohjamaan routivuusluokittelu (Saarenketo 1994, 1995), jossa arvot alle 9 edustavat routimatonta, arvot 9 - 16 lievästi routivaa ja yli 16 erittäin routivaa pohjamaata, näyttävät toimivan erinomaisesti tien routakäyttämisen arvioinnissa. To-

dettakoon, että tieanalyysissa routaväsymisen arvioinnissa ei käytetty dielektrisyysarvoja vaan IRI- ja ura-mittausarvoja sekä maatutkadataa.



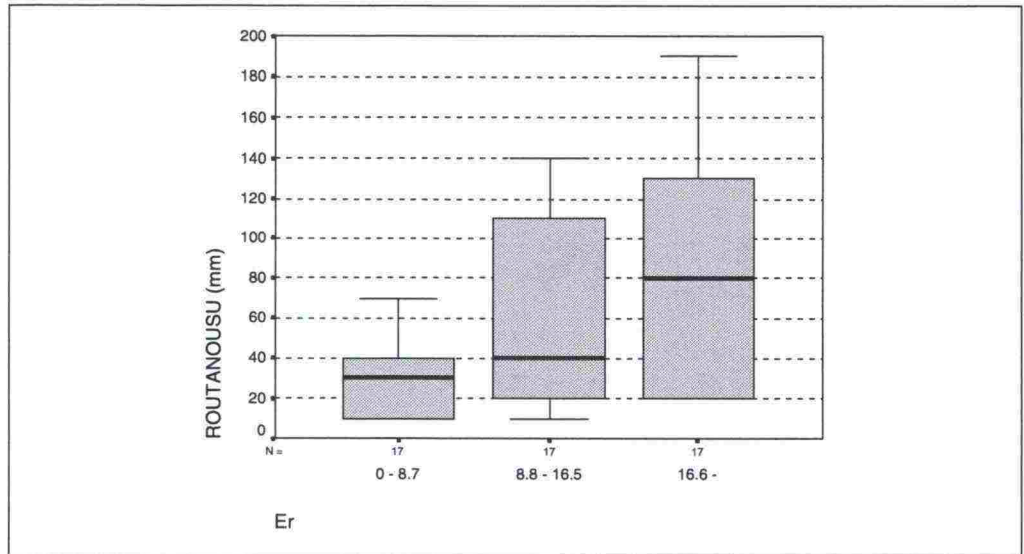
Kuva 47. Routasondimittaukset esitettynä yhdessä korkeuskorjatun tutkadatan, keväällä ja kesällä mitattujen 5m-IRI -arvojen sekä tieanalyysin kanssa. Mt 939 Kolari - Kurtakko, paaluväli 2000 - 2500



Kuva 48. Percometer-routasondilla mitatun dielektrisyysarvon vaihtelu routaväsymisen eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko

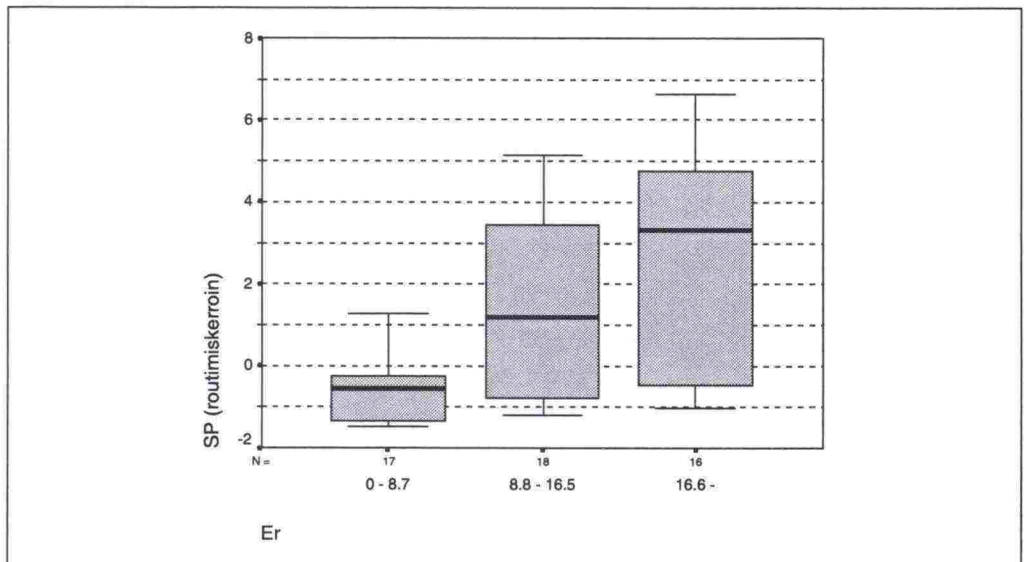
Dielektrisyys ja sähkönjohtokykyymittauksia tarkasteltiin yhdessä myös routanousumittauksien ja niiden perusteella laskettujen SP-arvojen kanssa. Kuva 49 osoittaa, että alhaisilla dielektrisyysarvoilla merkittäviä routanousuja ei esiinny eli pohjamaata voidaan pitää routimattomana. Se, miksi korkeilla dielektrisyysarvoilla routanousun määrä vaihtelee suuresti,

selittyy sillä, että rakennekerrosten paksuus vaikuttaa myös routanousun määrään. Hajonnasta huolimatta routanousun mediaaniarvo kasvaa selvästi dielektrisyysarvon kasvaessa: kun ϵ_r oli 8,8 - 16,5, routanousun mediaani oli 40 mm, mutta ϵ_r -arvon ollessa > 16,5, routanousun mediaani oli 80 mm.



Kuva 49. Robottitakymetritekniikalla mitatun routanousun vaihtelu Percometer-routasondilla mitatun dielektrisyysarvon eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko, paaluväli 1175 - 2637

Kuvassa 50 on tarkasteltu routasondimittaustulosten suhdetta laskettuihin SP-arvoihin. Tulokset osoittavat, että SP-arvojen mediaani nousee selvästi dielektrisyys- ja sähkönjohtokykyarvojen kasvaessa (ks. myös kuva 47).



Kuva 50. Routimiskertoimen vaihtelu Percometer-routasondilla mitatun dielektrisyysarvon eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko, paaluväli 1175 - 2637

5 UUDET MENETELMÄT SUUNNITTELUPROSESSISSA

5.1 Lähtötiedot ja niiden esittäminen

Tien rakenteenparantamishankkeissa lähtötietojen kerääminen, tehokas analysointi ja käyttö ovat avainasemassa rakenteen parantamisen suunnitteluprosessissa. Lähtötietojen huolellisen analysoinnin avulla voidaan useimmiten nopeuttaa kenttätutkimusaikataulua ja myös alentaa tutkimuskustannuksia.

Rakenteen parantamisen suunnittelussa tarvittavat lähtötiedot voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri luokkaan: 1) vanhat suunnitelma-asiakirjat ja muut tien historiatiedot, 2) Tielaitoksen ylläpitämät erilaiset rekisteritiedot sekä 3) geologiset, geofysikaaliset ja muut kartta-aineistot.

Tien historiatiedot sekä vanhat suunnitelma-asiakirjat löytyvät piirien arkistoista. Suunnitelma-asiakirjoista löytyy useimmiten hyödyllistä tietoa etenkin tien pohjamaasta sekä suunnitelluista tierakenteista. Tarkempaa tietoa toteutuneista rakenteista saa hankkeiden laaturaporteista. Tietoa tien korjaushistoriasta löytyy myös PMS-järjestelmästä.

Tielaitoksen ylläpitämät teiden hallintajärjestelmät, kuten PMS, HIPS, KURRE ja sorateiden kuntorekisteri, antavat tietoa teiden liikennemääristä, onnettomuustilastoista sekä tien kunnosta ja kunnan kehittymisestä viimeisten vuosien aikana. Uusien järjestelmien myötä suurin osa näistä tiedoista on rakenteen parantamisen suunnittelijoiden käytettävissä intranetin kautta. Suurin ongelma rekisteritiedoissa on se, että ne on esitetty useimmiten 100 m:n väleillä, jolloin tuloksia ei voida käyttää yksityiskohtaiseen suunnitteluun.

Arvokasta lähtötietoaineistoa pohjamaaolosuhteista on saatavilla geologisista maaperä- ja kallioperäkartoista, joista suuri osa on myös digitaalisesti käytettävissä. Myös ilmakuvat ja satelliittikuva-aineisto tuottavat tietoa etenkin tiealueen kosteusolosuhteista.

Lähtötietojen analysointi ja esittäminen helposti omaksuttavassa muodossa on tärkeää modernille hankeryhmytyöskentelylle. Tässä työssä suurimpana apuna tulevaisuudessa ovat erilaiset GIS-ohjelmistot, joiden avulla voidaan esittää eri muuttujien jakauma tieosilla.

5.2 Tien geometrian mittaus ja mittausten paikannus

Tien geometrian mittaus on tehokkainta tehdä differentiaali-GPS -tekniikkaa käyttävällä GPS-autolla. Jos tätä ei ole saatavilla tai mittaus ei katveongelmista johtuen onnistu, voidaan käyttää robottitakymetritekniikkaan perustuvia mittauksia. Kuitenkaan differentiaalitekniikkaa karkeampi RD-GPS -tekniikka ei ole riittävän tarkka käytettäväksi rakenteen parantamishank-

keissa, etenkin pystygeometrian kartoituksessa on ongelmia. GPS- ja robotitakymetrimittauksissa tulee mitata ainakin tien keskilinjän koordinaatit ja lisäksi mielellään myös tien reunojen koordinaatit, jolloin saadaan tarvittava tieto tien sivukaltevuudesta.

Ylivoimaisesti suurin ongelma uusien mittausmenetelmien mittaustulosten integroidussa analyysissä on mittausten paikannuksessa esiintyvät puutteet. Eri mittaukset tehdään eri kohdista tietä ja mittausautojen matkamittareiden kalibroinnin taso vaihtelee, myöskään tierekistereiden matkatiedot eivät ole aina välttämättä oikeita. Toinen ongelma on, että vaikka mittaustulosten erot saadaan tasattua eri tasoitustekniikoilla tieanalyysiin ja tien parantamissuunnitelmaan, törmätään samaan ongelmaan kentällä, kun täsmäsuunnitelman pohjalta tehtävät maastotyöt alkavat.

Tästä syystä jatkossa tulisi täsmäsuunnittelussa käytettäviä eri mittausmenetelmiä kehittää siten, että kaikissa menetelmissä mittaukset sidotaan säännöllisen välimatkan välein maastosta helposti paikannettaviin sidontapisteisiin ns. markkereilla. Parhaita pisteitä ovat rummut, mutta myös ainakin suuremmat liittymät tulisi paikantaa, koska ne helpottavat tasauksen suunnittelua. Mikäli mahdollista, tulisi rumpujen päiden koordinaatit ja korkeusero mitata myös GPS- tai takymetritekniikalla. Nämä tulokset helpottavat merkittävästi tutkatulosten tulkintaa ja kuivatuksen parantamisen suunnittelua.

Tieanalyysissä kaikki mittaustulokset skaalataan rumpujen väleillä ja rumpujen paalulukema ja tarvittaessa koordinaatit merkitään pituusleikkauksiin. Kun tien parantamistoimenpiteet aloitetaan, mitataan rakenteiden muutoskohtien sekä korjattavien tieosien alku- ja loppukohtien etäisyydet lähimmästä rummusta.

5.3 Pohjamaan laatu ja kalliopinnat

Tietoa pohjamaan laadusta sekä kalliopinnan asemasta tarvitaan parantettavan tien kantavuusmitoituksessa, routamitoituksessa, geoteknisessä suunnittelussa, kuivatuksen suunnittelussa sekä tien pysty- ja vaakageometrian suunnittelussa. Toisin sanoen hyvät tiedot pohjamaasta ja kalliopinnan asemasta ovat onnistuneen täsmäsuunnittelun perusedellytys.

Kokenut maatutkatulkitsija voi määrittää pohjamaan laadun 100 - 500 MHz:n tutkadatasta heijasteiden tekstuurin perusteella, mutta ilman referenssejä tehdyllä tulkinnalla on suuret riskinsä. Siksi tulkinnan tukena tulee käyttää 1) geologisia maaperäkartoja, 2) kantavuusmittaustietoja, joista pohjamaan moduulit voidaan laskea, 3) routasonditietoja, joiden perusteella pohjamaan laatu ja kosteus voidaan mitata, 4) kairaustietoja sekä 5) maatutkamittausten yhteydessä kerättyä videotietoa, johon toinen mittaajista sanelee havainnot pohjamaan laadusta.

Myös pohjamaan kerrosrajat voidaan ja on syytä arvioida maatutkadatasta aina routakiilasyvyyteen saakka. Jos alemman kerroksen maalajista ei ole tietoa, tulee se merkitä tutkatulkinnassa epävarmana laatutietona, joka tulisi varmistaa muulla näytteenotolla. Tien alla olevien turvekerrosten paksuus tulisi aina määrittää maatutkadasta. Tällöin on kuitenkin muistettava, että 500 MHz:n antennilla normaalisti käytetyllä 70 ns:n aikaikkunalla voidaan mitata vain noin 1,7 m:n turvepaksuudet. Jos turvepaksuus on suurempi, tulee käyttää 100 - 200 MHz:n antenneja ja pidempää aikaikkunaa.

Kalliopinnan aseman varmistamisessa tehokkain ja suositeltavin uusi MISU-menetelmä on maatutkamittausten ja pudotuspainolaitemittausten tulosten yhteiskäyttö. Tässä tekniikassa arvioidaan pudotuspainolaitteen kauimmaisten geofonien taipumasta, onko kallio lähellä tien pintaa, ja maatutka-profiilista tulkitaan vastaavassa syvyydessä oleva heijaste kalliopinnaksi. Tekniikka on vielä tarkempi, jos tulkitsijalla on käytettävissä ohjelmisto jäykän kerroksen syvyyden laskennalle. Kun PP-laitemittauspisteiden kohdalta on määritetty kalliopinnat, voidaan pisteiden välialueet tulkita maatutkatulosten perusteella. Maatutka-PP -laitetekniikalla voidaan kalliopinta määrittää kokemuksen mukaan noin 3 m:n syvyydelle saakka virheen ollessa 10 - 20 %. Tulkinat voidaan varmistaa tarvittaessa seismisten luotauksien, koe-kuoppien tai porakonekairauksien avulla.

5.4 MISU-menetelmät ja routamitoitus

Seuraavassa on esitetty tutkimustulosten pohjalta vaihtoehtoisia menetelmiä, miten uusia tutkimustekniikoita voidaan käyttää tierakenteen routatutkimuksissa. Kuvatut menetelmät eivät ole ainoita vaihtoehtoja ja niitä voidaan käyttää tapauskohtaisesti myös muilla tavoilla.

VE1: PTM-auto - routavaaitus - maatutka

Tässä vaihtoehdossa tutkittavasta tiestä mitataan aluksi 5m-IRI -arvot kevättälvella maksimiroudan aikaan PTM-autolla ja mittaustulosten perusteella paikannetaan epätasaisen routanousun alueet, joilla tehdään routavaaitus perinteisellä routavaaitustekniikalla, robottitakymetrillä tai GPS-tekniikalla. Roudan sulamisen jälkeen mittaukset uusitaan, jonka jälkeen lasketaan kokonaisroutanousu ja määritetään epätasaisen routanousun kohteet.

Epätasaisen routanousun syyt selvitetään maatutkamittausten perusteella ja kohteisiin laaditaan korjaussuunnitelmat. Tielle ei tehdä erillistä routamitoitusta, jollei tiessä ole epätasaisen routanousun kohteita eikä tiessä ole pituushalkeamia. Jos pituushalkeamia esiintyy, käytetään joko routamitoitusta tai kohteet korjataan teräsverkoilla.

VE1-tekniikka soveltuu etenkin kevyen rakenteen parantamisen kohteisiin, joissa päällysrakenteen yläosa stabiloidaan, minkä vuoksi epätasaiset routanousukohdat halutaan paikantaa ja korjata. Tulevaisuudessa, kun IRI-

arvoja tai esimerkiksi mitattuja kiihtyvyyssanturiarvoja osataan tulkita riittävän luotettavasti, voidaan routavaaitukset jopa jättää tutkimuksista pois.

VE2: GPS - (robottitakymetri) - maatutka

Jos tielle halutaan tehdä kattava routatarkastelu ja -mitoitus, voidaan käyttää GPS-maatutkatekniikkaa. Tässä vaihtoehdossa koko tie mitataan GPS-autolla tai robottitakymetrillä sekä keväällä maksimiroudan aikaan että kesällä roudan sulettua ja mittaustuloksista lasketaan routanousu. Tarvittaessa mittaukset voidaan tehdä myös tien reunalta, jolloin tien poikkileikkauksen routanousutiedot ovat myös käytettävissä. Kesällä tehtävillä maatukamittauksilla määritetään kerrospaksuudet, jonka jälkeen aikaisemmin kuvattulla tekniikalla lasketaan pohjamaan routimiskerroin eli SP-kerroin. Uusi tierakenne mitoitetaan routimiskertoimen ja tilaajan määrittämän maksimiroutanousun perusteella.

Tämä menetelmä on huomattavasti kalliimpi kuin vaihtoehto 1, mutta se antaa kattavan kuvan tien routaolosuhteista. Menetelmän käyttökohteita ovat raskaan rakenteen parantamisen kohteet, joissa tien pysty- ja vaakageometrian muutoksia voidaan hyödyntää routamitoituksessa.

VE3: Routasondi - maatutka - PTM-auto

Vaihtoehto 3 on suositeltavin vaihtoehto etenkin kiireisissä suunnitteluhankkeissa, joissa suunnittelupäätös tehdään kesällä ja parantamistoimenpide jo seuraavana kesänä, eikä aikaa routanousumittauksiin ole. Menetelmä on myös halvin toteuttaa. Tällöin routasondilla mitataan mieluummin heinä - elokuun aikana ojan ulkoluiskista pohjamaan dielektrisyys ja sähkönsäilytyskyky 20 m:n välein. Tiekohde mitataan myös maatutkalla ja PTM-autolla ja tien routaväsyminen analysoidaan. Routasondimittausten ja tieanalyysitulosten perusteella tien pohjamaa luokitellaan seuraavasti (Taulukko 8):

Taulukko 8. Tien pohjamaan luokittelu routasondimittausten ja tieanalyysitulosten perusteella

Dielektrisyys Er	Pohjamaa	Mitoitus	Routimiskerroin SP
< 9	routimaton	norm. kantavuusmitoitus	2,5
9 - 16	lievästi routiva	routaolosuhteet selvitetään	4,5
16 - 28	erittäin routiva	routamitoitus	7,5
> 28	Tv, Lj, Sa	selvitetään erikseen	

Routakohteiden korjaussuunnittelussa ja routamitoituksessa on huomioitava myös tieanalyysin yhteydessä tehdyn tien kuivatuksen tarkastelun tulokset ja se, että tien routaolosuhteita voidaan parantaa myös kuivatuksen kautta.

5.5 Pohjamaan kantavuus ja geotekniset ongelmat

Pohjamaan kantavuus voidaan määrittää pudotuspainolaitteen mittaustulosten ja maatutkatulosten avulla, jolloin pohjamaan moduuli määritetään takaisinlaskentatekniikalla. Näin saatuja moduuliarvoja ei voida kuitenkaan suoraan käyttää kantavuusmitoituksessa, koska etenkin koheesiomaalajien suction-ominaisuuksista johtuen pohjamaan moduulit ovat huomattavasti suuremmat kuin vastaavilla maalajeilla mitoituksessa käytettävät moduulit. Esimerkiksi mt 1471 Mäntsälä - Oitti savialueilla pohjamaan takaisinlasketut moduulit olivat 80 - 90 MPa. Siksi pohjamaan laadun määrittämisessä on käytettävä maatutkamittaustuloksia, routasondimittaustuloksia sekä maaperäkarttatietoja.

Rakenteen parantamiskohteissa pohjamaan painumaominaisuudet voidaan määrittää tutkimalla maatutkan avulla vanhassa tiessä esiintyvät painumat ja keskittämällä tarkemmat tutkimukset näihin kohtiin. Maatutkalla ei yleensä voida määrittää painuvien savikerrosten paksuutta, mutta turvealueilla menetelmä toimii erittäin hyvin, paksujen turvekerrosten mittaamiseen tarvitaan tosin 100 MHz:n antenni. Savi- ja silttikerrosten paksuuden jatkuvaan mittaukseen soveltuu parhaiten maavastusluotaus, joka oli yksi MISU-projektin tutkittavia menetelmiä, mutta jolle ei MISU-tutkimushankkeista löytynyt sopivaa kohdetta. Maavastusluotaustekniikasta valmistuu 1999 erillinen tutkimusraportti Tuotannon T&K:n toimeksiannosta. Tutkimuksen suorittaa geofysiikan opiskelija Mika Silvasti.

5.6 Tien toiminnallisen kunnan tutkimus

MISU-projektit osoittivat selkeästi, että PTM-autolla tehtävät 5m-IRI- ja uramittaukset antavat erinomaista tietoa tien kunnosta sekä tien vaurioista. Mitattavista suureista kohonneet 5m-IRI -arvot kertovat pituussuuntaisesta epätasaisuudesta, joka johtuu lähinnä roudasta ja kohonneet ura-arvot puolestaan rakennekerrosten väsymisestä. Viimeksi mainittu voi johtua toisaalta roudan sulamisaikaan tapahtuneista tierakenteen ja pohjamaan pysyvistä muodonmuutoksista tai toisaalta itse päällysrakenteissa tapahtuvista palautumattomista muodonmuutoksista ja päällysteen kulumisesta. PTM-auton mittaustulosten analysoinnissa ehkäpä suurimmaksi ongelmaksi osoittautui se, että vastikään paikatut kohteet näkyvät tuloksissa usein hyvinä alueina, vaikka niiden todennäköinen tuleva vauriokehitys on nopeaa. Näissä tapauksissa mittaustulosten suoraan hyödyntämiseen tulee suhtautua varauksellisesti. Paikoin ongelmia aiheutti myös mittaustulosten paikantaminen suhteessa muihin mittaustuloksiin.

Mt:n 939 Kolari - Kurtakko mittaustuloksista tehdyistä tilastollisista analyysistä saa hyvän kuvan 5m-IRI -arvon merkityksestä pohjamaan routaväsymisen kuvaajana. Tarkastelussa verrattiin IRI-arvoja luokkarajoilla 0 - 2,5, 2,51 - 4,3 ja > 4,31 mm/m laskettuihin SP-arvoihin (Kuva 43). Tarkastelu osoitti, että alhaisen IRI-arvon omaavilla tieosilla oli segregatiopotentii-

aali niinikään alhainen, mutta korkeammissa IRI-luokissa segregatiopotentiaalitulosten jakaumat eivät eronneet toisistaan. Tämä osoittaa sen, että alhaiset IRI-arvot vanhalla tiellä kuvaavat aina ns. routimatonta pohjamaata, mutta pelkästään IRI-arvojen perusteella ei voida päätellä, onko pohjamaa lievästi vai runsaasti routiva.

Uramittauksissa PTM-auton tuloksista voidaan saada kahdenlaisia uraisuusarvoja: 1) keskiarvoura ja 2) harjannearvo. Näistä ensimmäistä käytetään PMS-mittauksissa. MISU-projektissa tieanalyysit tehtiin käyttäen harjannearvoa, koska tämä arvo kuvaa selvästi myös routaväsymisestä johtuvaa deformaatiota. Tulevaisuudessa tieanalyysin yhteydessä tulisikin käyttää molempia uramittausarvoja, jolloin niiden suhteesta voidaan päätellä, liittyvätkö tierakenteen kantavuusongelmat rakenteen deformaatioon vai reunan kantavuuspuutteisiin vai johtuuko urautuminen pelkästään nastarengaskulumisesta.

Koekohteissa mt 930 Mellakoski - Mellajärvi ja mt 930 Kolari - Kurtakko mitattiin IRI- ja ura-arvot sekä keväällä roudan maksimiaikaan että kesällä pohjamaan ollessa sulana. Kummassakaan kohteessa ei havaittu talvi-IRI- ja kesä-IRI -arvoille suuria eroja, joita on kuitenkin todettu muualla Lapin tiepiirissä päällystesuunnittelukohteissa tehdyissä mittauksissa (*Niku 1999*). Ilmiö voidaan selittää sillä, että uusilla ja vasta korjatuilla tieosilla epätasaiset routanousut vielä palautuvat kesällä, kun taas toistuvien routasykliä jälkeen kerrokset alkavat sekoittua, eikä tien tasaisuus enää palaudu alkuperäiselle tasolle. Näin on todennäköisesti käynyt kummassakin MISU-projektin Lapin kohteessa.

5.7 Vanhan tien rakenne ja materiaalit

Vanhan tien rakenteen rakennepaksuuksien ja materiaaliominaisuuksien tunteminen on perusedellytys uuden rakenteen mitoitukselle täsmäsuunnittelussa. Vanha tie voi sinänsä pitää sisällään useampia vanhoja teitä, kuten oli kyse mt 1471 Mäntsälä - Oitti hankkeessa, ja nämä rakenteet tulisi kyetä riittävän luotettavasti kuvaamaan tieanalyysissä sekä parantamissuunnitelmassa.

Perustyökaluna vanhan tien rakenteen tutkimuksissa on maatutkaluotaus 1,0 GHz:n ja 500 MHz:n antennilla sekä tapauskohtaisesti riittävän edustava näytteenotto tierakenteista. Lisäksi tulisi mitata riittävä määrä poikkileikkauksia. Maatutkaluotauksista tulisi kerrospaksuudet tulkita ainakin seuraavista rakennekerroksista: päällyste ja kantava kerros 1,0 GHz:n mittausdatasta sekä routimattomat rakennekerrokset ja penger 500 MHz:n mittausdatasta. Päällystepaksuutena voidaan käyttää sidottujen rakennekerrosten paksuutta, jos näytteenotto osoittaa, että sidottu kantava kerros on ehjä. Sorateilla päällystepaksuudeksi tulisi tulkita kulutuskerroksen paksuus. Kantavan kerroksen kokonaispaksuudeksi voidaan tulkita koko murskekerrosten paksuus, mikäli myös jakava on tehty samasta murskeesta ja ker-

rosten laadussa ei ole eroja. Mikäli jakava kerros on kuitenkin tehty esim. 0 - 100 mm:n materiaalista ja se sisältää suuria kiviä tai lohkareita, on se tulkittava erikseen, koska tietoa tarvitaan stabiloinnin suunnittelussa. Maatutkaluotauksessa on syytä tulkita myös suodatinhiekan paksuus ja muut selvät rakennekerrokset, vaikka niitä kaikkia ei siirrettäisikään Cad-ohjelmiin.

Referenssikairaukset tulisi suunnitella maatutkaluotausten perusteella siten, että jokaisesta rakennetyypistä olisi ainakin yksi edustava näyte. Näytetiheyden minimivaatimuksena voidaan pitää yhtä näytettä kahta kilometriä kohti. Jos kyseessä on kevyt rakenteen parantaminen, riittää useimmiten, että näytteenotossa otetaan näytteet päällysteestä ja kantavasta kerroksesta ja mitataan niiden paksuus, kun taas raskaassa rakenteen parantamisessa tulisi selvittää paikoin kaikki tien rakennekerrokset.

Laboratoriossa sitomattomien kerrosten näytteistä tulisi selvittää ainakin rakeisuus ja päällystenäytteistä bitumipitoisuus. Lisäksi kantavan kerroksen vedenherkkyyden määrittämiseksi tehtävät Tube Suction -testit ovat suositeltavia.

5.8 Mittaus- ja tieanalyysitulosten sekä parantamissuunnitelma-asiakirjojen esittäminen

Mittaus- ja tieanalyysitulokset voidaan esittää usealla tavalla, jotka on kuvattu aiemmin *taulukossa 2*. Tavoitteena tulisi olla, että keskeisimmät mitaustulokset ja laboratoriotutkimustulokset esitettäisiin pituusleikkausprofiileilla ja niistä tieanalyysin avulla tehdyt yhteenvedot esitettäisiin myös GIS-karttoina. Lisäksi tieanalyysituloksista tulisi esittää lyhyt kirjallinen yhteenvedo, jossa esitetään lyhyesti keskeisimmät tulokset ja niistä vedetyt johtopäätökset lisättynä mahdollisesti pienimuotoisella tilastollisella analyysillä. Kirjallisessa yhteenvedossa voidaan esittää myös ehdotuksia korjaustoimenpiteiksi.

Korjaussuunnitelma-asiakirjat laaditaan sen mukaan, onko kyseessä kevyt vai raskas rakenteen parantaminen. Kevyen parantamisen suunnitelma-asiakirjoissa riittävät useimmiten pituusleikkaukseen sidotut tiedot nykyisen tien rakenteista ja niiden laadusta sekä suunniteltu uusi rakenne lisättynä tiedoilla sivukaltevuudesta. Raskaassa rakenteen parantamishankkeessa suunnitelmat tulisi esittää tiesuunnitelmatasoisella pituusleikkauksella, josta ilmenevät selkeästi suunnitellut korjaustoimenpiteet, kuten massanvaihto ja tasauksen nosto, ja jossa esitetään lisäksi tieanalyysin tulokset. Molemmissa asiakirjoissa tulisi olla lyhyt selostusosa sekä massaluettelot. Raskaissa rakenteen parantamishankkeissa vaakageometria tulisi esittää myös vähintään 1:10 000-mittakaavaisella kartalla. Tien parantamiskustannukset voidaan esittää GIS-karttapohjalla, jolloin voidaan arvioida tien eri kohteiden rakenteiden hintaa

6 YHTEENVETO

MISU-projektin tavoitteena oli uusien mittausmenetelmien soveltuvuuden testaaminen rakenteen parantamisen suunnittelussa. Tutkimusprojekti ei kuitenkaan tyytynyt pelkästään testaamaan menetelmiä ja raportoimaan niiden eduista ja haitoista, vaan projektin tuloksena on kuvattu uusi rakenteen parantamisen suunnittelua hyödyntävä tietutkimusmenetelmä - tieanalyysi. Tieanalyysissä hyödynnetään integroidusti uusia ja toisiaan täydentäviä mittaus- ja tutkimusmenetelmiä kunkin menetelmän vahvuudet huomioon ottaen. Projektin lopputulos mahdollistaa rakenteen parantamisen täsmäsuunnittelun, jossa tiestä korjataan pelkästään vaurioituneet kohteet ja uusi rakenne mitoitetaan siten, että tieosien kestoikä tulee nykyisen tiedon valossa olemaan mahdollisimman yhtenevä. Toisin sanoen heikkojen tieosien rakenteen parantamiseen panostetaan parempien kustannuksella, eikä "varmuuden vuoksi" rakenteita suunnitella.

MISU-projektin tulos osoittaa, että maatutkaluotaus 500 MHz:n ja 1,0 GHz:n antennilla täydennettynä PTM-automittauksella ja pudotuspainolaitemittauksilla sekä ohjatulla näytteenotolla tuottaa kattavan aineiston tutkittavan tierakenteen kunnon arvioimiseksi. Uuden rakenteen suunnittelua ja mitoitusta varten tarvitaan vielä tarkempaa paikkatietoa, jota saadaan GPS- tai robottitakymetrimittauksella. Projekti osoitti myös, että pohjamaan routaolosuhteiden määrittämisessä ja routamitoituksen pohjana voidaan käyttää routasondimittauksien tuloksia, jos esimerkiksi routanousumittaustuloksia ei ole saatavilla. Pehmeikkö- ja pohjamaan painumaolosuhteiden tutkimuksiin soveltuvaa vastusluotaustekniikkaa ei MISU-projektissa testattu, mutta näistä tuloksista raportoidaan eri yhteydessä. Tutkimustulosten paikkaan sidotussa analysoinnissa ja analyysien esittämisessä on uudella GIS-tekniikalla suuri merkitys, koska päätöksenteon pohjaksi tarvitaan uusia esitys- ja havainnollistamistekniikoita, joissa keskeiset tutkimustulokset voidaan esittää nopeasti ja ymmärrettävästi päätöksentekotilanteissa.

MISU-projektissa luotiin myös prosessikuvaukset siitä, miten tilaaja-tuottaja-asetelma toimii erilaisissa rakenteen parantamishankkeissa ja mitä tutkimusmenetelmiä hyödynnetään kussakin suunnitteluvaiheessa eri tutkimuskohteissa ja miten tutkimusten tulokset tulisi esittää. Toisaalta projektin tulokset ja kokemukset kentältä osoittavat selkeästi, että tutkimusten kokonaiskoordinointi on erittäin tärkeää. Kullakin hankkeella tulee olla projekti-päällikkö, joka vastaa, että kaikki tarvittavat mittaukset suoritetaan vaadittavalla tarkkuudella. Suunnittelun pohjaksi tehtävän tieanalyysin voi tehdä tieanalyysikoulutuksen saanut henkilö ja tien suunnittelusta vastata toinen, joista toinen voi vastata koko hankkeesta - tosin suositeltavaa on, että jatkossa sama henkilö vastaa sekä tieanalyysistä että suunnittelusta.

MISU-projektin tulosten hyödyntämisen ja käyttöönoton keskeisimpänä tavoitteena on luoda järjestelmät, joissa tieanalyysitieto voidaan nopeasti siir-

tää erilaisiin suunnittelujärjestelmiin. Tämä työ on jo osittain aloitettu yhteistyöprojektina EasyWay-suunnitteluohjelmiston kehitysprojektin kanssa ja kehitystyötä tulisi jatkaa. Jatkossa suurimpana haasteena tulee olemaan yhteistyö rakenteen parantamistyötä suorittavien urakoitsijoiden kanssa sellaisten järjestelmien ja rakenneratkaisuiden luomiseksi, jotka optimaalisesti voisivat hyödyntää tieanalyysin ja täsmäsuunnittelun tuloksia.

7 VIITTEET

Kasari 1998. Suullinen tiedonanto.

Niku, M. 1999. 5m-IRI:n soveltuvuus tien epätasaisuuksien kartoittamiseen. Insinööriyö, Rovaniemen teknillinen oppilaitos.

Saarelainen, S. 1997. Luentoaineisto routamitoituksesta TPPT-projektin koulutustilaisuudesta Tielaitoksen henkilöstölle.

Saarenketo, T. 1994. Dielektrisyys- ja sähkönjohtokykyymittausten käyttö pohjamaan routivuuden luokitteluun. Aloite 12.4.1994. Tielaitos, Lapin tiepiiri.

Saarenketo, T. 1995. The Use of Dielectric and Electrical Conductivity Measurement and Ground Penetrating Radar for Frost Susceptibility Evaluations of Subgrade Soils. Proceedings of The Applications of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. Comp. by R. S. Bell. Orlando, Florida, pp. 73 - 85.

Saarenketo, T., Scullion, T. and Kolisoja, P. 1998. Moisture Susceptibility and Electrical Properties of Base Course Aggregates. Proceedings of BCRA'98, July 6 - 8, Trondheim, Norway. Volume 3, pp. 1401 - 1410.

Uudet mittaus- ja tutkimusmenetelmät rakenteen parantamisen suunnittelussa (MISU-projekti). Tielaitoksen selvityksiä 23/1999, Tielaitos. 47 s.

8 LIITTEET

1. Tutkimustulosten tilastollinen analyysi

Ulla Maijala

Routimiskerroin ja tieanalyysimuuttujat sekä niihin vaikuttavat tekijät - Tilastollinen analyysi

1 Johdanto

Tämä tutkimus kuuluu osana MISU-projektiin (Mittaus ja SUunnittelu), jossa tutkittiin uusien tietutkimusmenetelmien soveltuvuutta rakenteen parantamisen suunnitteluun. Tämä tutkimus keskittyy tutkimustulosten tilastolliseen analysointiin ja siinä tuloksia tarkastellaan kahdessa osassa:

Osa I. Routimiskerroin (SP) ja siihen vaikuttavat tekijät ja

Osa II. Tieanalyysimuuttujat ja niihin vaikuttavat tekijät.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhteyksiä routimiskertoimen ja toisaalta tieanalyysimuuttujien ja erilaisten taustamuuttujien välillä. Taustamuuttujia olivat routasondi-mittaustulokset, IRI- ja harjanneura-arvot, PP-laitetulokset sekä rakennekerrospaksuudet. Tutkimuksessa tarkasteltiin, kuinka hyvin tieanalyysia tehtäessä on käytetty apuna eri taustamuuttujien arvoja. Tarkoituksena oli myös löytää erilaisia raja-arvoja, joita voidaan käyttää apuna tieanalyysia tehtäessä.

Tutkimuskohteena oli neljä tieosuutta: kaksi Lapin tiepiirin alueelta (Kolari - Kurtakko ja Mellakoski - Mellajärvi) sekä kaksi eteläisemmästä Suomesta Vaasan ja Uudenmaan tiepiirien alueilta (Leppälänkylä Kuortaneella ja Mäntsälä - Oitti). Tilastoanalyysit tehtiin SPSS-ohjelmistolla.

2 Aineistot

2.1 Osa I: Routimiskerroin

Tutkimusaineistona oli mt 939 Kolari - Kurtakko, paaluväli 1175 - 2637. Tutkimusaineisto oli pieni (52 havaintoa), koska sellaisia routanousutietoja, joista oli käytettävissä myös muita tietoja, ei ollut enempää. Selitettävänä tekijänä olivat routimiskerroin (SP) ja routanousu. Selittävät tekijät olivat rakennekerrosten paksuus sekä eri tiedostoista poimitut routasondimittaustulokset (dielektrisyys (Er) ja sähkönjohtavuus), IRI (noin 5 m:n keskiarvo) ja URA (harjanne, ridge, 10 m:n keskiarvo) sekä PP-laitetulokset (SCI, BCI). Ne poimittiin eri tiedostoista siten, että routanousutiedoston paalulukemaa lähimmän paalun tieto otettiin käyttöön: routasondituloksissa paalulukemien ero oli korkeintaan 10 m ja PP-laitetuloksissa korkeintaan 25 m.

Aineiston pieni koko aiheutti rajoituksia: esimerkiksi luokitteluissa oli käytävä tasavälisiä luokkia ja vain kolmea luokkaa, jotta ristiintaulukoinnissa luokat säilyivät tarpeeksi suurina ja tilastollisten testien merkitsevyyteen voitiin luottaa. Tutkimuksen otanta oli juuri riittävä, että aineistolle voitiin tehdä tilastollisia analyyseja.

2.2 Osa II: Tieanalyysimuuttujat

1. Mt 939 Kolari - Kurtakko: tien pituus 4695 m, tiedoston koko 940 havaintoa
2. Pt 17469 Leppälänkylä: tien pituus 6670 m, tiedoston koko 1335 havaintoa
3. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 8: tien pituus 2170 m, tiedoston koko 435 havaintoa
4. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 9: tien pituus 3750 m, tiedoston koko 751 havaintoa
5. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10: tien pituus 6685 m, tiedoston koko 1338 havaintoa
6. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti, tieosa 5: tien pituus 4735 m, tiedoston koko 948 havaintoa

Ristiintaulukointia varten Mellakoski - Mellajärven tieosat 8, 9 ja 10 yhdistettiin yhdeksi tiedostoksi, jonka koko oli 2524 havaintoa, jotta havaintomäärä saatiin paremmin riittäväksi.

Tutkimusosassa II tarkasteltavat muuttujat olivat tieanalyysimuuttujat: routaväsyminen, tierakenneanalyysi, päällysteanalyysi, kuivatus ja vauriot. Tässä tarkastelussa keskityttiin lähinnä routaväsymiseen ja tierakenneanalyysiin sekä myös päällysteanalyysiin. Nämä tieanalyysimuuttujat on luokiteltu arvoilla 0 - 3; mitä suurempi arvo on sitä huonommaksi tie on analyysin mukaan arvioitu. Jokaisella neljällä tiekohteella on tieanalyysin tekijänä ollut eri henkilö. Tieanalyysia tehtäessä taustamuuttujien arvoja on käytetty apuna, joten tieanalyysimuuttujat ja taustamuuttujat ovat keskenään riippuvia.

Taustamuuttujina olivat rakennekerrospaksuudet (tarkastelussa lähinnä C21 = päällysteen paksuus ja C71 = rakennekerrosten kokonaispaksuus) sekä 5m-IRI ja URA (harjanne) sekä PP-laitetulokset (SCI, BCI). Vain Kolari - Kurtakko tieltä oli käytössä routasondimittaus tulokset (dielektrisyys (Er) ja sähkönjohtavuus) pohjamaan osalta. Aineistoissa oli myös muita kerrospaksuustietoja ja mm. PP-laitteen E2-arvo ja päällystetutkalla mitattu päällysteen Er-arvo (Er_21), mutta tarkastelussa keskityttiin lähinnä edellä mainituihin taustamuuttujiin.

Aineistossa havainnot olivat 5 m:n välein, jolloin jokaisen paalun kohdalla ei ollut käytettävissä kaikkia arvoja, koska esimerkiksi SCI- ja BCI-arvot olivat vain 50 m:n välein. URA-arvot olivat keskiarvotietoina 10 m:n välein, jolloin kaksi peräkkäistä arvoa olivat aina samat. IRI- ja URA-arvojen mittausajan kohta vaihteli eri tieosuuksilla siten, että analyysieissä käytettiin Kolari - Kurtakossa, Mäntsälä - Oitissa ja Leppälänkylässä kesäarvoja, mutta Mellakoski - Mellajärvellä talviarvoja (mitattu toukokuussa). Kolari - Kurtakko tieltä käytössä olleet pohjamaan dielektrisyysarvo (Er) ja sähkönjohtavuusarvo oli mitattu 20 m:n välein. Tieanalyysitiedot ja kerrospaksuustiedot olivat alkupe-
räisissä tiedostoissa metrin välein. Näistä poimittiin tutkimusaineistoon arvot

aina 5 m:n välein. Kolari - Kurtakko tieltä puuttuivat analyysitiedot alusta 255 metrin matkalta.

3 Menetelmät

Tilastanalyysit tehtiin SPSS-ohjelmistolla. Aineistojen yleistarkastelu tehtiin perustunnuslukujen ja frekvenssijakaumien avulla. Muuttujien välisten yhteyksien tarkastelussa käytettiin pääasiassa korrelaatiokertoimia ja -diagrammeja sekä Explore-tarkastelujen avulla tuotettuja viiksilaatikkokuvia eli hajontakuvioita. Havaittujen yhteyksien tilastollista merkitsevyyttä testattiin ristiintaulukointien ja niistä laskettujen testisuureiden avulla sekä routimiskerointitarkastelussa myös keskiarvotestien ja regressioanalyysien avulla.

3.1 Frekvenssijakaumat ja perustunnusluvut

Frekvenssijakaumat tulostettiin luokitelluista tieanalyysimuuttujista, jolloin saatiin tietää kunkin analyysiluokan absoluuttiset havaintomäärät sekä prosenttiosuudet. Kustakin muuttujasta tulostettiin tunnuslukuja mm. keskiarvo, keskihajonta, mediaani, minimi ja maksimi. Jatkuvista muuttujista tulostettiin myös kumulatiivisia prosenttiosuuksia (25, 50 ja 75 sekä 33,3 ja 66,6 %). Näitä kumulatiivisia prosenttiosuuksia käytettiin määrittäessä luokkarajoja muuttujien luokittelua varten. Luokkarajojen määrittelyn perusteena käytettiin lisäksi tieanalyysin tulkintakriteereitä, jotta nähtiin kuinka hyvin tieanalyysi oli onnistunut.

3.2 Korrelaatiot

Muuttujien välisistä korrelaatioista ei voi tehdä kovin suoria johtopäätöksiä, koska mittauksia ei ole tehty samaan aikaan ja juuri samasta kohdasta, mutta ne antavat viitteitä mahdollisista riippuvuuksista. Tutkimuksessa tarkasteltiin eri korrelaatiokertoimia (Pearson, Kendall's T_b ja Spearman's δ) ja todettiin, että ne kaikki antavat hyvin yhteneväisen tuloksen. Tutkimusosassa I kaikki muuttujat olivat jatkuvia, jolloin käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa. Tieanalyysimuuttujat olivat luokiteltuja, joten tutkimusosassa II käytettiin Spearmanin korrelaatiokerrointa, jota käytetään järjestysasteikollisten muuttujien tapauksessa. Korrelaatiomatriisin kussakin ruudussa ylin luku on korrelaatiokerroin, alin luku havaintojen lukumäärä (N) ja keskimäinen luku P-luku (Sig.), joka kertoo tilastollisen merkitsevyyden. Tähdellä (*) on merkitty tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet 0,05 tasolla kaksisuuntaisessa testissä ja kahdella tähdellä (**) tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet 0,01 tasolla, jolloin riippuvuus on erittäin merkitsevää.

Korrelaatiodiagrammeissa tarkasteltiin kahden jatkuvan muuttujan välisiä yhteyksiä. Tutkimusosassa II kahden jatkuvan muuttujan lisäksi tarkasteluun otettiin kolmanneksi muuttujaksi tieanalyysimuuttujaluokat eri markkerilla merkittyinä. Tällöin tarkasteltiin esimerkiksi rakenteiden kokonaispaksuuden

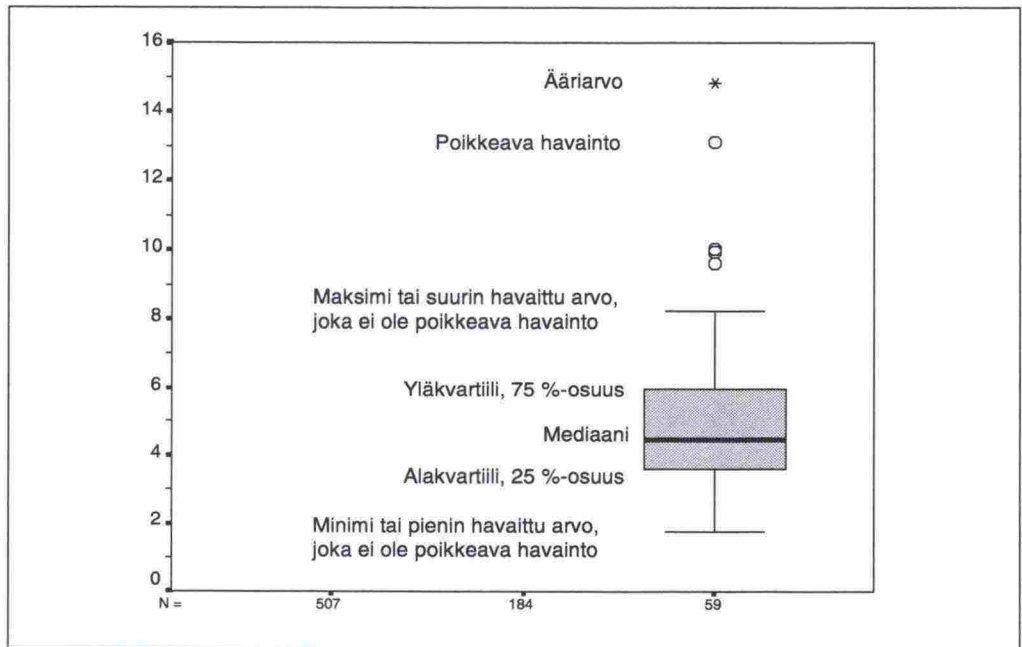
ja URA:n välistä riippuvuutta routaväsymisen eri luokissa. Kaikkia yksittäisiä ääriarvoja ei esitetä korrelaatiodiagrammeissa.

3.3 Explore-tarkastelut

Explore on monipuolinen data-analyysiohjelma, jolla voidaan tulostaa useita kuvioita ja tunnuslukuja. Explore-käskyllä suoritettiin aineiston tarkempi kuvailu ja analysointi siten, että tarkasteltiin kahta muuttujaa yhdessä. Tutkimusosassa I tarkasteltiin SP:n vaihtelua selittävien muuttujien eri luokissa. Tutkimusosassa II tarkasteltiin, millaisia arvoja selittävät muuttujat saivat eri analyysimuuttujien luokissa eli tarkastelut toisinpäin kuin tutkimusosassa I. Tarkasteluerot johtuvat usein siitä, että SP on jatkuva muuttuja ja analyysimuuttujat taas luokiteltuja.

Explore-tarkastelu antaa tavallisten tilastollisten tunnuslukujen lisäksi trimmatun keskiarvon (5 % Trimmed Mean eli havaintoja poistetaan 5 % pienimmästä ja suurimmasta päästä jakaumaa), 95 %:n luottamusvälin keskiarvolle (95 % Confidence Interval for Mean) ja kvartiilivälin (Interquartile Range). Explore-tarkastelun avulla voidaan lisäksi tulostaa mm. ääriarvoja: 5 suurinta ja pienintä arvoa kussakin luokassa.

Kussakin tarkastelussa tulostettiin viiksilaatikkokuva (Boxplot) eli hajontakuvi, joka esittää mediaanin, kvartiilit sekä ääriarvot luokitellulle muuttujalle (kuva 1). Laatikko sisältää 50 % havainnoista ja viiva laatikon keskellä kuvaa mediaanin arvoa. Laatikon päädyt osoittavat 25 ja 75 %:n prosentiosuudet (ala- ja yläkvartiilit). Viikset osoittavat muuttujan arvojen vaihteluvälin niin, että viiksen alareuna on minimi tai pienin havaittu arvo, joka ei ole poikkeava havainto (Outlier). Vastaavasti viiksen yläreuna on maksimi tai suurin havaittu arvo, joka ei ole poikkeava havainto. Poikkeavat havainnot (Outliers) ovat havaintoarvoja, jotka ovat 1,5 - 3 laatikon korkeutta (= Interquartile Range) kauempana joko laatikon ylä- tai alareunasta. Ääriarvot (Extremes) taas ovat havaintoarvoja, jotka ovat yli 3 laatikon korkeutta kauempana joko laatikon ylä- tai alareunasta. Outliers/extremes arvot voi poistaa kuviosta, jos haluaa tai niistä voi poistaa label-merkinnät. Tässä ne poistettiin, jotta kuvat saatiin selkeämmiksi.



Kuva 1. Hajontakuvio selityksineen

3.4 Ristiintaulukoinnit

Ristiintaulukoinnissa tarkasteltiin kerrallaan yhden selittävän ja yhden selittävän tekijän välistä yhteyttä. Ristiintaulukointia varten suoritettiin muuttujien luokittelu, jolloin satunnaisuuden vaikutus vähenee ja tuloksena saadaan selkeämpi kuva kunkin yksittäisen muuttujan vaikutuksesta. Ristiintaulukon kussakin ruudussa on kyseisen luokan havaintojen lukumäärä, odotusarvo sekä kokonaisprosenttiosuus. Havaintojen lukumäärä olisi yhtäsuuri kuin vastaava odotusarvo eli odotettu frekvenssi, jos muuttujat olisivat toisistaan riippumattomia. Mitä enemmän havaitut arvot poikkeavat vastaavista odotusarvoista, sitä suurempi on muuttujien välinen yhteys.

X^2 -riippumattomuustesti tuottaa kolme eri testisuuretta: Pearsonin, uskottavuussuhteen (Likelihood Ratio) ja Mantel-Haenselin lineaaristen assosiaatioiden (Linear-by-Linear Assosiation) X^2 -testisuureet, jotka kaikki testaavat samaa asiaa, eikä niiden antamissa tuloksissa ole yleensä eroja. Jokaisen X^2 -testisuureen kohdalle tulostuu myös tuloksen todennäköisyys eli P-arvo, jonka avulla nähdään, onko muuttujien välinen riippuvuus tilastollisesti merkitsevää. Muuttujat ovat keskenään riippuvia, jos P-arvo on pienempi kuin 0,05. Eli suuret X^2 -testisuureen arvot ja vastaavasti pienet P-arvot osoittavat muuttujien välillä olevan yhteyttä. X^2 -testin oletuksena on, että korkeintaan 20 % odotetuista frekvensseistä saa olla pienempiä kuin viisi, jotta testin tuloksiin voi luottaa. Siksi ohjelma kertoo pienimmän odotetun frekvenssin arvon ja paljonko viittä pienempiä frekvenssejä esiintyy.

Usein tulostettiin lisäksi ristiintaulukoitujen muuttujien väliset korrelaatiokerroimet ja niiden merkitsevyysarvot (Symmetric Measures).

3.5 Keskiarvotestit ja regressioanalyysit

Tutkimusosassa I tehtiin osalle muuttujista (Er, IRI ja sähkönjohtavuus) myös keskiarvotestit, yksisuuntaiset varianssianalyysit. Selittävä muuttuja luokiteltiin ja tarkasteltiin SP:n keskiarvoa kussakin luokassa. Varianssitaulussa suuri testisuureen (F) arvo ja vastaavasti pieni testin merkitsevyysarvo (Sig. < 0,05) osoittavat, että tarkasteltavat muuttujat ovat riippuvaisia toisistaan eli SP:n keskiarvo on merkitsevästi eri selittävän muuttujan eri luokissa.

Regressioanalyysillä tutkitaan, voidaanko jollakin jatkuvalla muuttujalla tai joillakin jatkuvilla muuttujilla selittää jonkin toisen jatkuvan muuttujan vaihtelua. Koska tutkimusosassa II selitettävät muuttujat eli tieanalyysimuuttujat olivat luokiteltuja muuttujia, regressioanalyysia ei voitu tehdä. Tutkimusosassa I tehtiin myös muutamia regressioanalyysieja, jotta olisi saatu selville jokin SP:n selitysmalli, jossa ilmenisi selittävien muuttujien tärkeysjärjestys. Askeltavassa regressioanalyysissa, joka lisää tai poistaa muuttujia askeleittain, pantiin tarjolle kaikki selittävät muuttujat. Analyysi antaa mallin selityssasteen (R Square) ja varianssitaulussa (ANOVA) testataan mallin sopivuutta aineistoon. Kerrointaulukosta (Coefficients) nähdään mallissa mukana olevat selittäjät ja vakiotermi ja näiden kertoimet regressiomallissa. Mallin ulkopuolelle jääneet selittäjät ja niiden merkitys ilmenee omassa taulukossaan (Excluded Variables).

Residuaalit eli jäännökset saadaan laskemalla seuraavasti: riippuvan muuttujan todettu arvo miinus regressiomallin mukainen ennustettu arvo. Mitä pienemmät residuaalit sitä parempi malli. Kuvioiden avulla testataan oletusten (normaalisuuden, lineaarisuuden ja varienssien yhtäläisyyden) voimassaoloa. Kuvioiden avulla voidaan myös löytää poikkeavia havaintoja.

4 Osan I tulokset (Routimiskerroin, SP)

4.1 Yleistä

Tutkimusalueella Kolari - Kurtakko routimiskerroin oli keskimäärin 1,3 (= keskiarvo ja mediaani = 0). Kaikkinensa SP vaihteli välillä -1,5 - 7,9. Routanousun vaihteluväli oli 10 - 190 mm mediaanin ollessa 40 mm. Taustamuuttujien mediaaniarvot olivat seuraavat: IRI 3,7 mm/m, URA 16,3 mm, SCI 180 µm, BCI 27,5 µm, Er 15,3, sähkönjohtavuus 7 mS/cm ja rakennepaksuus 0,9 m.

4.2 Korrelaatiot

Tutkimusaineistossa SP:n kanssa korreloi erittäin merkitsevästi dielektrisyysarvo (Er) (korrelaatiokerroin 0,408**) eli niillä on voimakas positiivinen riippuvuus. Er korreloi merkitsevästi myös routanousun kanssa (korrelaatiokerroin 0,286*). SP:llä oli merkitsevä riippuvuus myös IRI:n ja rakennekerrosten paksuuden välillä. Muiden taustamuuttujien (mm. harjanneuran,

SCI:n ja BCI:n) yhteys SP:n tai routanousun kanssa ei ollut korrelaatiomatriisin mukaan tilastollisesti merkitsevää.

Selittävien tekijöiden keskinäisistä korrelaatioista voidaan todeta, että erittäin merkitsevä (**) positiivinen riippuvuus Er:n kanssa oli sekä sähkönjohdavuudella, IRI:llä että rakennekerrosten paksuudella. Sähkönjohdavuus ja rakennekerrosten paksuus korreloivat myös erittäin merkitsevästi keskenään. Lisäksi merkitsevä riippuvuus (*) oli IRI:n ja sähkönjohdavuuden sekä SCI:n ja BCI:n välillä.

Kun tarkastelun ulkopuolelle jätettiin havainnot, joissa Er oli yli 26 (oletetut turve- ja liejuaalueet), korrelaatiomatriisi oli pääpiirteissään samanlainen kuin edellä (tarkastelussa tällöin 48 havaintoa). SP:n ja routanousun välinen korrelaatio Er:n kanssa nousi jonkin verran suuremmaksi ja SP:n ja sähkönjohdavuuden välinen riippuvuus nousi merkitseväksi. Myös sähkönjohdavuuden ja harjanneuran välinen riippuvuus oli tällöin erittäin merkitsevää (korrelaatiokerroin 0,453). Tämä osoittaa, että käytetty aineisto oli varsin pieni, jolloin yksittäisten havaintojen painoarvo oli suuri: isommalla aineistolla päästäisiin varmempiin tuloksiin. Jatkotarkasteluissa olivat mukana myös suurimmat Er-arvot, jotta havainnot riittäisivät tilastolliseen tarkasteluun myös luokitellussa muodossa ja koska perustellusti ei voitu todistaa, että vain korkean Er:n alueet olisivat turve- ja liejuaalueita.

Korrelaatiodiagrammeista nähdään, että Er:n ollessa alhainen (< 10, pohjamaa routimaton) SP oli pääsääntöisesti pieni. Kun taas Er oli korkeampi (> 15), SP:n arvo vaihteli suuresti. Kun SP oli pieni, myös IRI-arvot olivat useimmiten (muutamaa poikkeusta lukuunottamatta) pienet (< 6 mm/m).

4.3 Ristiintaulukoinnit

Ristiintaulukoinnin tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Routimiskertoimen (SP) ja routanousun sekä taustamuuttujien välisten ristiintaulukointien tulokset

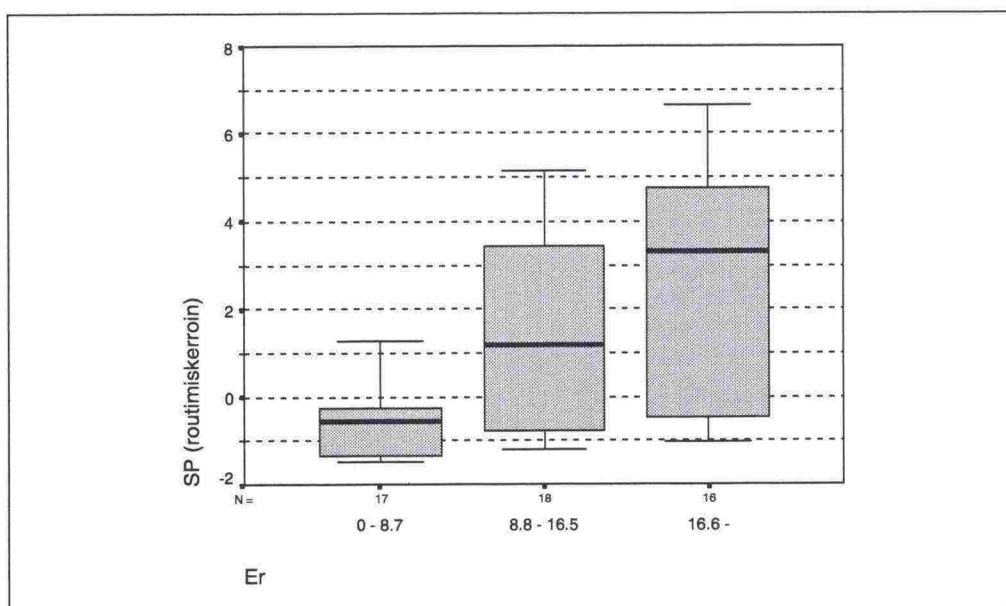
Muuttujapari	Riippuvuuden merkitsevyys	Pearsonin X^2 -testin P-arvo
SP ja Er	merkitsevä riippuvuus	0,005 (< 0,05)
SP ja sähkönjohdavuus	merkitsevä riippuvuus	0,047
SP ja IRI	merkitsevä riippuvuus	0,017
SP ja SCI	ei merkitsevää riippuvuutta	0,548 (> 0,05)
SP ja BCI	ei merkitsevää riippuvuutta	0,383
routanousu ja Er	lähes merkitsevä riippuvuus	0,097

Kaikkien edellälueteltujen muuttujaparien välinen todettu riippuvuus oli positiivista eli esimerkiksi mitä suurempi Er sitä suurempi SP. Yhteys SP:n ja Er:n välillä on selkein SP:n ylimmässä luokassa (SP > 2,46), jossa Er:n luokassa 0 - 8,7 ei ollut yhtään havaintoa, mutta Er:n luokassa > 16,5 oli 10

havaintoa (molempien em. luokkien odotettu frekvenssi oli noin 5). SP:n ja sähkönjohtavuuden välinen yhteys oli hyvin samankaltainen kuin edellä kuvattu SP:n ja Er:n välinen yhteys. SP:llä näyttäisi olevan positiivinen riippuvuus myös SCI:n ja BCI:n kanssa, mutta tilastollista merkitsevyyttä ei näillä havaintomäärillä saavutettu.

4.4 Hajontakuviot ja keskiarvotestit

Tarkasteltaessa hajontakuvioiden avulla SP:n vaihtelua selittävien muuttujien luokissa (3 luokkaa, SP tässä tarkastelussa jatkuvana muuttujana) havaittiin SP:llä positiivinen riippuvuus Er:n, IRI:n ja sähkönjohtavuuden kanssa. Huomionarvoista on sekä SP:n vaihteluvälin kasvu että mediaaniarvon selkeä nousu mentäessä kohti Er:n, IRI:n ja sähkönjohtavuuden suurempia arvoja. SP:n mediaani oli sekä Er:n että sähkönjohtavuuden alimmassa luokassa peräti 4 yksikköä alhaisempi kuin ylimmässä luokassa (kuva 2).



Kuva 2. Routimiskertoimen vaihtelu Er-arvojen eri luokissa. Mt 939 Kolari - Kurtakko, paaluväli 1175 - 2637

SP:n ja Er:n välinen riippuvuus oli tilastollisesti merkitsevää keskiarvotestin mukaan eli SP:n keskiarvo oli merkitsevästi erisuuri Er:n eri luokissa. Vastaava merkitsevä riippuvuus oli myös SP:n ja sähkönjohtavuuden välillä, samoin kuin SP:n ja IRI:n välillä. Myös routanousun ja Er:n välinen riippuvuus oli tilastollisesti merkitsevää: routanousun mediaaniarvo oli Er:n alimmassa luokassa ($Er < 8,7$) noin 30 mm, mutta ylimmässä luokassa ($Er > 16,6$) peräti 80 mm.

SP:n ja URA:n välinen riippuvuus näyttää lähinnä U-tyyppiseltä, kun taas SP:n ja SCI:n sekä BCI:n välillä oli havaittavissa lievähkö positiivinen, mutta ei aivan suoraviivainen riippuvuus.

4.5 Regressioanalyysit

Askeltavassa regressioanalyysissa, jossa analysoitiin kaikkia selittäviä muuttujia, ohjelma otti regressiomalliin mukaan selittäjiksi ensin Er:n ja sitten sähkönjohtavuuden. Muiden muuttujien selitysaste ei ollut riittävä, joten ne jäivät mallin ulkopuolelle. Regressiomallin, jossa oli Er mukana, selitysaste oli 16,7 % ja mallin, jossa sekä Er että sähkönjohtavuus olivat mukana, selitysaste oli 25,8 %. Regressiomallissa, jossa selittäjänä oli mukana vain Er, residuaalit vaihtelivat välillä -4,7 ja 4,6. Residuaalit olivat aika suuriakin, mikä kuvastaa sitä, että malli ei ole kovin hyvä eli pelkkä Er ei riitä selittämään SP:n vaihtelua vaan selittämätöntä osaa (= residuaalit) jää vielä paljon. Mallin selitysaste oli myös alhainen. Korrelaatiodiagrammi SP:n ja residuaalien välillä osoitti, että mitä suurempi SP, sitä suurempi residuaali. Mallin mukaiset SP:n ennustetut arvot vaihtelivat välillä -0,3 ja 4,0, mutta todetut arvot vaihtelivat välillä -1,5 ja 7,9.

Kun tarkastelun ulkopuolelle jätettiin havainnot, joissa Er oli yli 26, regressioanalyysi otti mukaan malliin vain Er:n ja tällöin selitysasteeksi saatiin 32,0 %.

4.6 Muodostettujen kerroinmuuttujien tarkastelu

Tarkastelun kohteena olivat muodostetut kerroinmuuttujat Er * IRI (Er kerrottuna IRI:llä) ja Er * sähkönjohtavuus. Er * IRI korreloi SP:n kanssa erittäin merkitsevästi (0,404**) ja routanousun kanssa merkitsevästi (0,289*). Ristiintaulukoinnin tulokset on esitetty *taulukossa 2*. Tämä kerroinmuuttujatarkastelu vahvisti edellä saatuja tuloksia, jolloin kutakin selittävää muuttujaa tarkasteltiin yksittäisenä, mutta lisäinformaatiota ei juuri saatu.

Taulukko 2. Routimiskertoimen (SP) ja routanousun sekä muodostettujen kerroinmuuttujien välisten ristiintaulukointien tulokset

Muuttujapari	Riippuvuuden merkitsevyys	Pearsonin X^2 -testin P-arvo
SP ja Er * IRI	merkitsevä riippuvuus	0,001 (< 0,05)
SP ja Er * sähkönjohtavuus	merkitsevä riippuvuus	0,004
routanousu ja Er * IRI	ei merkitsevä riippuvuus (lähes merk.)	0,110
routanousu ja Er * sähkönjohtavuus	ei merkitsevä riippuvuus (lähes merk.)	0,137

4.7 Yhteenveto

Kaikkien tilastollisten tarkastelujen perusteella routimiskertoimen (SP) vaihtelua selitti tarkastelluista muuttujista eniten dielektrisyys (Er) ja lisäksi jonkin verran myös sähkönjohtavuus ja IRI. Hajontakuvioiden avulla oli huomionarvoista sekä SP:n vaihteluvälin kasvu että mediaaniarvon selkeä nousu

mentäessä kohti Er:n, IRI:n ja sähkönjohtavuuden suurempia arvoja. Tarkastelu osoitti myös sen, että alhaisilla Er-arvoilla SP-arvo oli aina alhainen, eli **routasondilla voidaan selvästi osoittaa routimattomat pohjamaat**. Myös absoluuttista routanousun määrää selitti tässä tarkastelussa parhaiten Er (SP:tä tosin testattu enemmän). Isommalla aineistolla saataisiin kenties varmempia tai erilaisia tuloksia: ehkä jotkut selittävät muuttujat, kuten SCI ja BCI, nousisivat merkittäviksi selityksasteeltaan. URA:n yhteys routimiskertoimeen ja routanousuun jäi tämän tutkimuksen perusteella alhaiseksi.

5 Osan II tulokset

5.1 Yleistä

Tieanalyysin taustamuuttujien jakaumia tarkasteltaessa havaittiin, että 5m-IRI -arvot olivat aika alhaiset kaikilla tieosuuksilla: IRI-luokassa 0 - 3 mm/m oli Mäntsälä - Oitti -aineistossa noin 70 % havainnoista, muilla tieosuuksilla 50 - 65 % havainnoista. Harjanneura-arvot olivat korkeimmat Kolari - Kurtakko -aineistossa, missä mediaani oli 23 mm, kun muilla tutkituilla teillä URA:n mediaani oli 15 mm. Mäntsälä - Oitti- ja Leppälänkylä-aineistoissa olivat selvästi korkeammat BCI-arvot kuin Mellakoski - Mellajärvi- ja Kolari - Kurtakko -aineistoissa, joissa yli 2/3 BCI-arvoista oli alle 30 µm. Myös SCI-arvot olivat Lapin teillä (mt 939 ja 930) alhaisemmat kuin eteläisemmän Suomen tutkimuskohteissa.

Tieanalyysimuuttujia tarkasteltaessa havaittiin, että Kolari - Kurtakko -aineistossa routaväsyminen oli suurinta: yksistään analyysiluokassa 3 oli neljännes havainnoista ja luokissa 2 ja 3 yhteensä oli yli 2/3 havainnoista. Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa taas routaväsymisen luokassa 1 oli 2/3 havainnoista, lähes samoin myös Mäntsälä - Oitti -aineistossa. Leppälänkylä-aineistossa oli eniten havaintoja luokissa 1 (47 %) ja 2 (40 %).

Tierakenneanalyysin mukaan huonoimmassa kunnossa rakenteet olivat Leppälänkylän paikallistiellä, joka oli kokonaisuudessaan analysoitu tierakenneanalyysiluokkiin 2 (41 % hav.) ja 3 (59 %). Myös Kolari - Kurtakko- ja Mäntsälä - Oitti -aineistoissa merkittävä osa (yli 80 %) havainnoista oli analysoitu luokkiin 2 ja 3. Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa taas yli puolet tiestä oli analysoitu tierakenteeltaan luokkiin 0 (7 %) tai 1 (46 %). Päälysteanalyysin mukaan Mäntsälä - Oitti -tie oli huonoin: analyysiluokassa 3 oli 45 % havainnoista ja loput luokassa 2 (55 %). Myös Kolari - Kurtakko -aineistossa oli paljon havaintoja päälysteanalyysin luokissa 3 (29 %) ja 2 (50 %). Mellakoski - Mellajärvi ja Leppälänkylä olivat päälysteanalyysin mukaan paremmassa kunnossa, mutta myös siellä analyysiluokassa 2 oli paljon havaintoja (Leppälänkylällä 40 % ja Mellakoski - Mellajärvellä 29 %).

Leppälänkylä-aineistosta kuivatusanalyysiluokkaan 3 kuului peräti 2/3 tiestä ja loput luokkaan 2. Seuraavaksi eniten kuivatuspuutteita havaittiin Mäntsälä - Oitti -tiellä, jossa luokkaan 3 oli analysoitu 1/3 havainnoista ja loput 2/3 luokkaan 2. Kolari - Kurtakko- ja Mellakoski - Mellajärvi -aineistoissa eniten

havaintoja oli luokassa 2 (yli 60 %), mutta osa tiestä oli kuivatuksen suhteen kunnossa (luokka 1): Kolari - Kurtakko -tiestä neljännes ja Mellakoski - Mellajärvi -tiestä kolmannes.

Mäntsälä - Oitti -aineistossa paikallisia vaurioita ei oltu analysoitu. Leppälänkylä-aineistossa 10 %:lla tiestä oli paikallisia vaurioita, Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa 8,5 % ja Kolari - Kurtakko -aineistossa 3,6 % tiestä.

Mt 939 Kolari - Kurtakko:

- korkeitakin 5m-IRI -arvoja (max 25 mm/m)
- URA(harjanne)-arvot suurimmat (max 65 mm)
- paksuimmat päällystepaksuudet (mediaani (= med) 81 mm)
- routaväsyminen suurinta
- pohjamaan dielektrisyyden (E_r) keskiarvo oli 14, reilu kolmannes tiestä oli routimattomalla pohjamaalla ($E_r < 9$) ja vajaa kolmannes erittäin routivalla alustalla ($E_r > 16$)

Pt 17469 Leppälänkylä, Kuortane:

- yksittäisiä korkeita 5m-IRI -arvoja (max 35 mm/m)
- korkeimmat SCI-arvot (med 238 μm ja max 440 μm) ja toiseksi korkeimmat BCI-arvot (med 38 μm)
- paikoitellen ohuet kokonaiskerrospaksuudet
- tierakenneanalyysin mukaan huonoin tie
- eniten paikallisia vaurioita ja kuivatuksen puutteet suurimmat

Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi:

- keskimäärin alhaisimmat SCI-arvot (med 156 μm)
- tieosalla 10 paikoitellen todella paksut kerrokset ja paikoitellen hyvin ohuet
- keskimäärin ohuimmat päällystepaksuudet erityisesti tieosalla 10, mutta myös tieosalla 9
- tieosalla 8 päällyste paksumpaa ja kokonaiskerrospaksuudet tutkituista teistä paksuimmat (med 1,0 m)

Mt 1471 Mäntsälä - Oitti:

- alhaisimmat 5m-IRI -arvot
- toiseksi korkeimmat SCI-arvot (med 200 μm) ja korkeimmat BCI-arvot (med 46 μm)
- ohuimmat kokonaisrakennepaksuudet, koska niiksi on tulkittu vain viimeisimmän parantamisen jälkeen lisätyt kerrokset (vanhat kerrokset tulkittu penkereeksi)
- huonoimmat päällysteanalyysiarvot

5.2 Korrelaatiot

5.2.1 Kolari - Kurtakko

Kolari - Kurtakko -aineistossa voimakkaimmin korreloivat tieanalyysimuuttujat keskenään. Esimerkiksi tierakenneanalyysin ja päällysteanalyysin välinen korrelaatiokerroin oli peräti 0,756 (**). Tämä osoittaa sen, että syntyneitä vaurioita ei ole juuri paikattu viime vuosina. Selittävistä tekijöistä analyysimuuttujien (sekä routaväsymisen, tierakenneanalyysin että päällysteanalyysin) kanssa korreloivat positiivisesti tilastollisesti erittäin merkitsevästi URA, IRI ja rakenteiden kokonaispaksuus (C71). Korrelaatiot olivat voimakkaimmat URA:n kanssa. Eli mitä korkeampi URA- ja IRI-arvo oli, sitä korkeammat (= huonommat) analyysiarvot tie sai, mikä oli erittäin loogista. Loogista oli myös, että päällysteen paksuus (C21) korreloi negatiivisesti merkitsevästi routaväsymisen ja päällysteanalyysin kanssa. Routaväsyminen oli sitä suurempaa ja päällysteen kunto oli sitä huonompi mitä ohuempi päällyste oli. Mutta kokonaiskerrospaksuuksien väliset positiiviset korrelaatiot analyysimuuttujien kanssa olivat mielenkiintoisia, koska ne tarkoittavat, että mitä paksumpi kokonaiskerrospaksuus oli, sitä huonompia analyysiarvoja tie sai. Tämä selittyy sillä, että routimattomilla pohjamailla rakenteet ovat ohuet, mutta routivilla eivät riittävän paksut. PP-laitetuloksista vain tierakenneanalyysin ja BCI:n välinen korrelaatio oli merkitsevä (0,220**), mutta muuten SCI ja BCI eivät korreloineet merkitsevästi analyysimuuttujien kanssa.

5.2.2 Leppälänkylä

Leppälänkylä-aineistossa tieanalyysimuuttujien korrelaatiot IRI:n ja URA:n kanssa olivat kaikki erittäin merkitseviä positiivisia ja C21:n kanssa negatiivisia. Suurin korrelaatiokerroin (0,684**) on tierakenneanalyysin ja SCI:n välillä ja myös BCI:n korrelaatiot sekä routaväsymisen (0,462**) että tierakenneanalyysin kanssa ovat merkitseviä. C71:n korrelaatio on routaväsymisen kanssa positiivinen (0,265**), mutta tierakenneanalyysin kanssa negatiivinen (-0,225**).

5.2.3 Mellakoski - Mellajärvi

Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa kaikki sekä tieanalyysimuuttujien keskinäiset että tarkasteltujen selittävien muuttujien väliset korrelaatiot tieanalyysimuuttujien kanssa olivat tilastollisesti erittäin merkittäviä. Suurimmat korrelaatiot olivat tierakenneanalyysimuuttujalla URA:n (0,654 **) ja SCI:n (0,576 **) kanssa. Korrelaatiot IRI:n, URA:n, SCI:n ja BCI:n ovat luonnollisesti positiivisia, mutta korrelaatiot C21:n ja C71:n välillä olivat negatiivisia (lukuunottamatta päällysteanalyysin ja C21:n välistä positiivista korrelaatiota). Huomionarvoisia olivat myös C71:n väliset selkeät negatiiviset korrelaatiot sekä IRI:n, URA:n, SCI:n että BCI:n kanssa eli mitä paksummat kerrokset olivat sitä parempia eli pienempiä IRI-, URA-, SCI- ja BCI-arvot olivat.

5.2.4 Mäntsälä - Oitti

Mäntsälä - Oitti -aineistossa routaväsymisen kanssa erittäin merkitsevästi korreloivat IRI (0,552**) ja BCI (0,358**). Tierakenneanalyysin ja päällysteanalyysin kanssa positiivisesti merkitsevästi korreloivat sekä IRI, URA, SCI että BCI ja negatiivisesti merkitsevästi C21. Suurin korrelaatiokerroin (0,567**) on tierakenneanalyysin ja URA:n välillä. Selittävien muuttujien välisistä korrelaatioista kannattaa huomioida, että C21 korreloi merkitsevästi negatiivisesti URA:n, SCI:n ja BCI:n kanssa. Korrelaatiot C71:n kanssa eivät olleet merkitseviä, mihin todennäköisesti vaikuttaa kerrospaksuuksien tulokintatapa.

5.2.5 Yhteenveto

Yleisenä päätelmänä voidaan todeta, että tieanalyysimuuttujien korrelaatiot IRI:n, URA:n, SCI:n ja BCI:n kanssa olivat positiivisia (luonnollisesti) ja usein muuttujien välinen riippuvuus oli myös tilastollisesti merkitsevää. Kerrospaksuuksien (C21:n ja C71:n) ja tieanalyysimuuttujien väliset korrelaatiot olivat useimmiten negatiivisia, mutta eivät aina tilastollisesti riittävän suuria. Huomionarvoista on C71:n ja analyysimuuttujien välinen tilastollisesti merkitsevä positiivinen riippuvuus Kolari - Kurtakko -aineistossa. Selvimät korrelaatiot olivat Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa. Tieanalyysimuuttujat korreloivat voimakkaimmin keskenään Kolari - Kurtakko- ja Mellakoski - Mellajärvi -aineistoissa, vähän heikommin Mäntsälä - Oitti -aineistossa ja heikoimmin, mutta kuitenkin merkitsevästi Leppälänkylä-aineistossa. Siten jos tie on jonkin analyysin mukaan huono, se on oletettavasti huonohko myös muiden analyysien mukaan.

5.3 Korrelaatiodiagrammit

Korrelaatiodiagrammeissa tarkasteltiin kahden jatkuvan muuttujan välisiä yhteyksiä ja lisäksi havainnot merkittiin jonkin tieanalyysin luokkien mukaan markkerilla. Tällöin tarkastelussa keskityttiin lähinnä seuraaviin muuttujayhdistelmiin. Rakenteiden kokonaispaksuuden (C71) ja IRI:n sekä C71:n ja URA:n välistä riippuvuutta tarkasteltiin routaväsymisen eri luokissa. SCI oli tarkastelussa yhdessä C71:n kanssa tierakenneanalyysin eri luokissa. Samalla tavalla tarkasteltiin BCI:tä. Lisäksi SCI:tä tarkasteltiin päällystepaksuuden (C21) kanssa päällysteanalyysin eri luokissa.

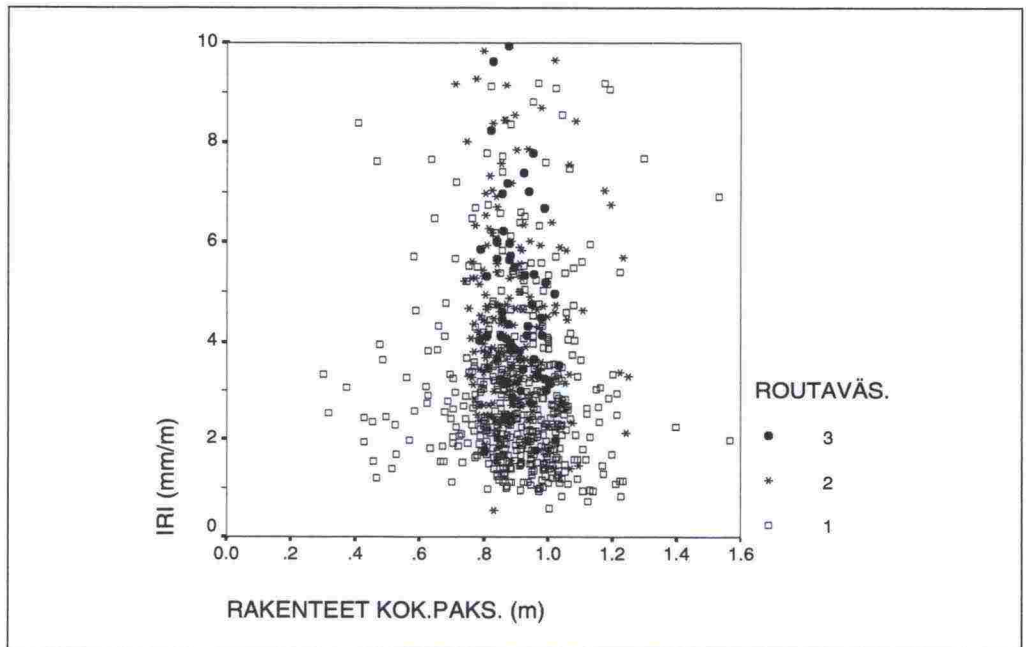
Mellakoski - Mellajärven tieosalla 9 havaittiin, että routaväsyminen oli pahinta (luokka 3), kun kokonaiskerrospaksuudet olivat noin 0,8 - 1,0 m riippumatta, millaisia IRI- ja URA-arvot olivat (IRI- ja URA-arvot vaihtelivat melko pienistäkin arvoista suuriin). Tätä ohuemmissa ja taas paksummissa rakenteissa routaväsyminen oli selvästi vähäisempää (kuva 3). Vastaavanlaista, mutta ei tosin niin selkeää, pahimman routaväsymisen keskittymistä tiettyihin rakennepaksuuksiin oli havaittavissa myös Mellakoski - Mellajärven tieosalla 10 (0,6 - 0,8 m) sekä Mäntsälä - Oitti -aineistossa (0,3 - 0,6 m). Kolari - Kurtakko -aineistossa oli routaväsyminen selkeästi pahinta URA-

arvojen ollessa yli 25 mm, mutta rakenteiden kokonaispaksuuden ollessa noin 0,8 - 1,2 m routaväsyminen oli suurta myös alhaisemmilla URA-arvoilla.

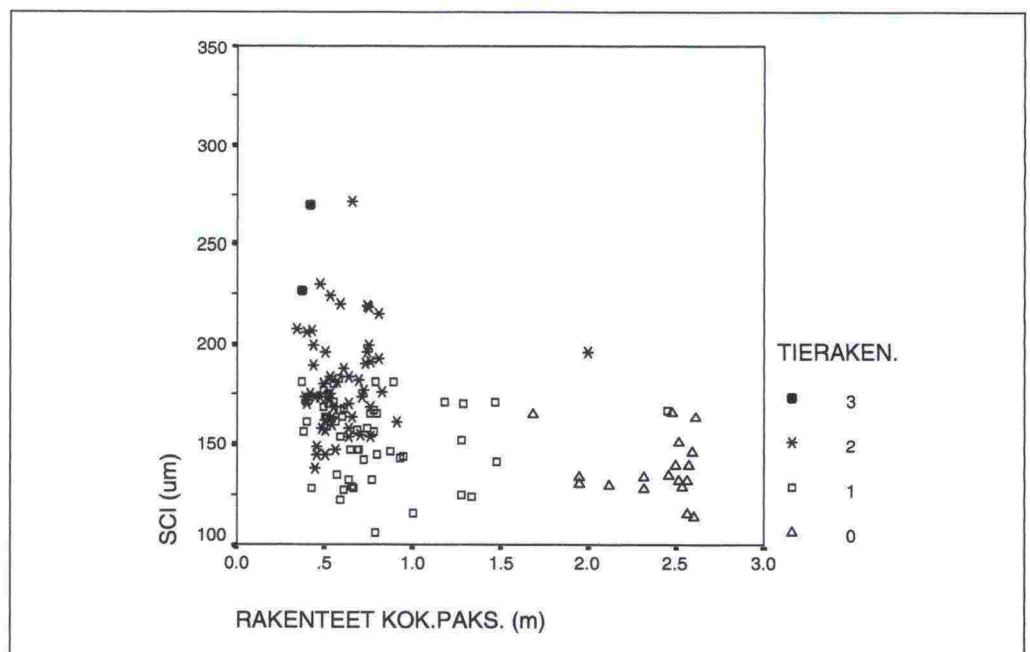
Korrelaatiodiagrammeissa näkyi selkeästi Mellakoski - Mellajärven tieosan 10 todella paksujen rakenteiden yhteys hyviin tieanalyysiarvoihin. Rakenteiden kokonaispaksuuden ollessa yli 1 m lähes kaikki havainnot kuuluivat routaväsymisen luokkaan 1 ja URA-arvot olivat pääasiassa alle 15 mm ja IRI-arvot alle 5 mm/m. Samoin rakenteiden ollessa yli 1 m paksuja SCI oli alle 175 μm ja BCI oli alle 20 μm ja tällöin tierakenne oli analysoitu luokkaan 1 tai luokkaan 0 sitten, kun kokonaisrakennepaksuus oli yli 1,5 m (kuva 4).

Yksittäisten muuttujien lisäksi korrelaatiodiagrammeissa tarkasteltiin kerroinmuuttujaa $\text{IRI} * \text{URA}$ yhdessä rakenteiden kokonaispaksuuden ja routaväsymisen ja tierakenneanalyysin kanssa Kolari - Kurtakko- ja Leppälänkylä-aineistoissa. Näin yritettiin selvittää IRI:n ja URA:n keskinäisiä yhteyksiä tieanalyysin eri luokissa, mutta mitään erityistä lisätietoa ei juuri saatu. Mellakoski - Mellajärven tieosilla 8 ja 9 tarkasteltiin muuttujia IRI ja URA routaväsymisen ja tierakenneanalyysin eri luokissa. Näyttäisi siltä, että IRI:llä on selkeämpi yhteys routaväsymiseen ja URA:lla taas tierakenneanalyysiin. Nimittäin suurillakin URA-arvoilla routaväsyminen voi olla alhaista ja taas suurillakin IRI-arvoilla tierakenne on analysoitu hyväksi (kuva 5).

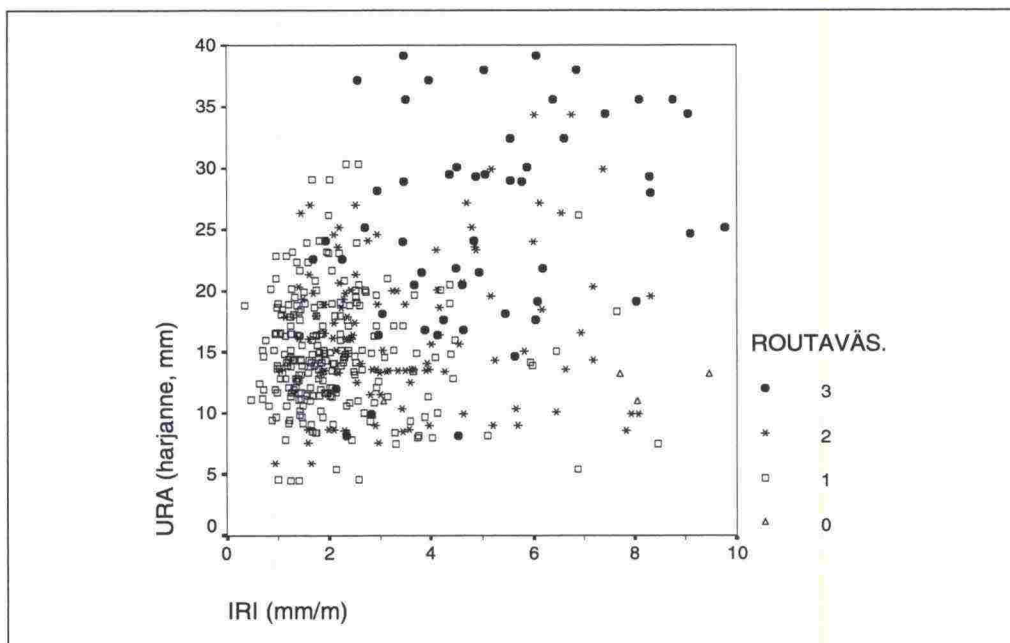
Yleisesti korrelaatiodiagrammeissa oli havaittavissa, että tieanalyysimuuttujien eri arvot (luokat) sijaitsivat kuvioissa erilaisina ryhmittyminä. Lisäksi taustamuuttujille oli havaittavissa erilaisia raja-arvoja, joiden mukaan tieanalyysiarvot jakaantuivat. Esimerkiksi Mellakoski - Mellajärven tieosalla 8 tierakenneanalyysin luokan 1 havainnot sijoittuvat siten, että SCI oli alle 150 μm ja rakenteiden kokonaispaksuus yli 80 cm. Samoin päällysteanalyysin luokan 3 havainnot sijaitsivat niin, että päällystepaksuus oli alle 60 mm ja SCI yli 150 μm . Kaikki korrelaatiokuvat eivät kuitenkaan olleet aivan selkeitä ja muuttujien väliset yhteydet tulivat paremmin esiin hajontakuvioiden ja ristiintaulukointien avulla.



Kuva 3. Rakenteiden kokonaispaksuuden ja 5m-IRI -arvon välinen riippuvuus routaväsymisen eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 9



Kuva 4. Rakenteiden kokonaispaksuuden ja SCI-arvon välinen riippuvuus tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10



Kuva 5. 5m-IRI -arvon ja harjanneura-arvon välinen riippuvuus routaväsymisen eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 8

5.4 Hajontakuviot

Vaikka monien eri muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin, lähemmin keskityttiin seuraaviin muuttujayhdistelmiin ja niistä tulostettiin sekä hajontakuviot että ristiintaulukoinnit:

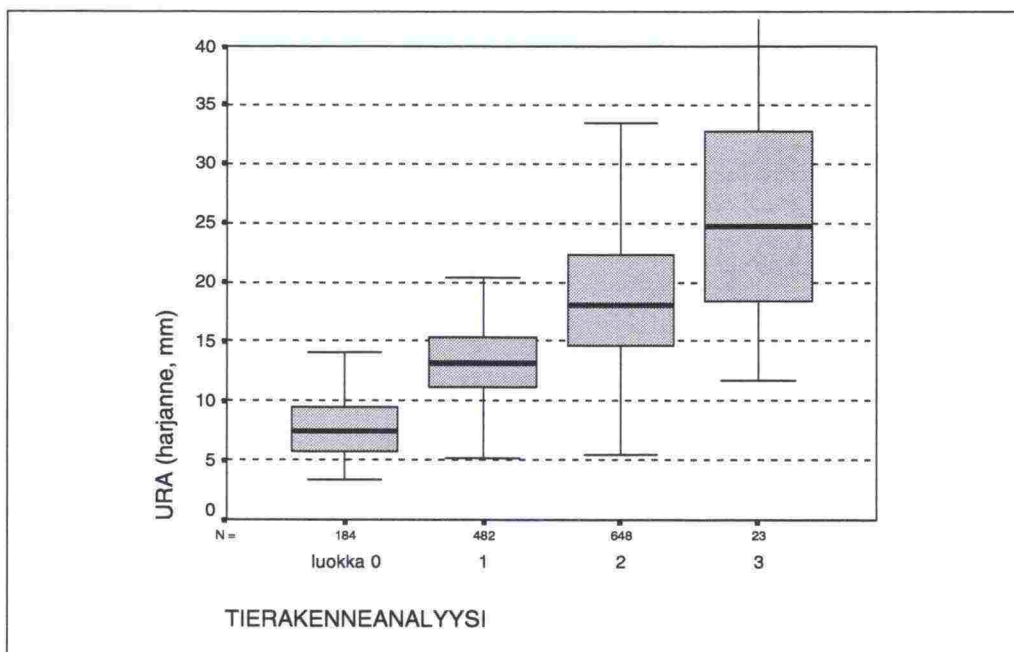
- routaväsyminen ja IRI
- routaväsyminen ja URA
- tierakenneanalyysi ja URA
- tierakenneanalyysi ja SCI
- tierakenneanalyysi ja BCI
- päällysteanalyysi ja päällysteen paksuus C21
- tierakenneanalyysi ja rakenteiden kokonaispaksuus C71
- routaväsyminen ja rakenteiden kokonaispaksuus C71 (vain ristiintaulukointi)
- Routaväsyminen ja Er (Kolari - Kurtakko -aineisto)

Yleisesti hajontakuvioista havaittiin tieanalyysimuuttujien positiivinen riippuvuus IRI:n, URA:n, SCI:n ja BCI:n kanssa, niin kuin pitäisikin olla, koska nämä ovat tieanalyysin luokittelukriteereitä. Usein hajontakuvioista oli havaittavissa (samoin kuin tutkimusosassa I) taustamuuttujien vaihteluvälin kasvu siirryttäessä tieanalyysiluokissa paremmista (0 - 1) huonompiin (2 - 3). IRI:n mediaaniarvo oli routaväsymisen luokassa 1 keskimäärin 1,5 - 2,5 mm/m, luokassa 2 noin 3 mm/m ja luokassa 3 noin 4 mm/m, Mellakoski - Mellajärven tieosalla 8 jopa yli 5 mm/m. Useimmilla tieosilla URA-arvon mediaani oli noin 20 ja 25 mm:n välissä routaväsymisen luokassa 3, mutta Kolarin - Kurtakko -aineistossa peräti 33 mm. Mäntsälä - Oitti -aineistossa URA-arvon mediaani oli noin 15 mm kaikissa routaväsymisen luokissa (Mäntsälä

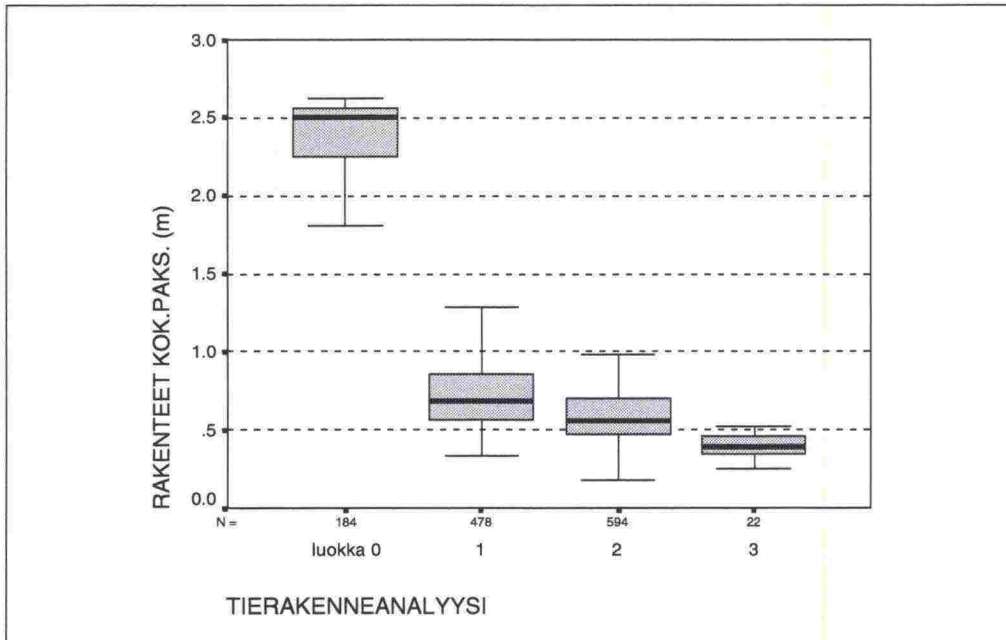
- Oitissa myös vastaava korrelaatiokerroin oli erittäin pieni, ei merkitsevä). URA-arvojen kasvu kohti tierakenneanalyysin suurempia luokkia oli erittäin selkeä Mellakoski - Mellajärven tieosalla 10 (kuva 6). SCI:n ja BCI:n välinen positiivinen riippuvuus oli tierakenneanalyysimuuttujan kanssa selvästi havaittavissa kaikilla muilla tarkastelluilla teillä paitsi Kolari - Kurtakossa.

Vaikka tien kunto ei ole suoraan riippuvainen tierakenteen kokonaispaksuudesta, negatiivinen riippuvuuden perussuunta oli hajontakuviosta havaittavissa. Eli tieanalyysin arvot olivat parempia (pienempiä), kun rakenteet olivat paksummat. Osalla teistä riippuvuus oli lähinnä U:n mallinen eli paksut rakennekerrokset kuuluivat joko tierakenneanalyysin luokkaan 1 tai 3. Mellakoski - Mellajärven tieosalla 10 erottuivat korjatut todella paksut tieosuudet selkeästi omana tierakenneanalyysin luokkana 0 (kuva 7). Kolari - Kurtakko -tie erosi muista teistä selkeästi: ohuimmat tierakenteet kuuluivatkin tierakenneanalyysin luokkaan 1. Myös päällysteanalyysin ja päällysteen paksuuden välinen riippuvuus oli päävoittoisesti negatiivinen tai lievästi U-tyyppinen, paitsi Mellakoski - Mellajärven tieosalla 9 lievästi positiivinen.

Routaväsymisen ja dielektrisyiden (pohjamaan E_r :n) välinen yhteys oli selkeästi positiivinen Kolari - Kurtakko -aineistossa. E_r oli yleensä alle 10 routaväsymisen luokassa 1, mutta luokassa 2 mediaanikin oli jo 15 ja luokassa 3 3/4 havainnoista oli yli 15.



Kuva 6. Harjanneura-arvon vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10



Kuva 7. Rakenteiden kokonaispaksuuden vaihtelu tierakenneanalyysin eri luokissa. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi, tieosa 10

5.5 Ristiintaulukoinnit

5.5.1 Yleistä

Ristiintaulukoissa käytettiin seuraavia luokkarajoja:

- 5m-IRI: 3, 5 ja 7 mm/m
- URA (harjanne): 7, 15 ja 25 mm
- SCI: havainnot (SCI ja BCI vain 50 m:n välein) eivät riittäneet ristiintaulukointiin tilastollisesti merkittävien tulosten saamiseksi niin, että kaikilla tieosilla olisi voitu käyttää samoja luokkarajoja. Siksi kullakin tieosalla luokkaraja(t) asetettu tarpeen mukaan: 175 // 200 // 175 ja 250 // 150 ja 200 μ m
- BCI: havaintojen vähyyden takia useita luokkarajoja (kuten edellä SCI:n yhteydessä): 25 // 45 // 25 ja 45 μ m
- Päällysteen paksuus (C21): 45, 60 ja 80 mm
- Rakenteiden kokonaispaksuus (C71): 50, 75 ja 100 cm (Mäntsälä - Oitissa 35, 50 ja 65 cm)
- Dielektrisyys (Er): 9, 16 ja 26

Hajontakuvioissa havaitut muuttujien väliset yhteydet todettiin ristiintaulukointien avulla tilastollisesti selvästi merkitseviksi IRI:n ja URA:n osalta. Kerrospaksuuksien (C21 ja C71) ja tieanalyysimuuttujien väliset riippuvuudet olivat merkitsevät, mutta eivät aina suoraviivaiset. Samoin SCI:n ja BCI:n väliset yhteydet tieanalyysimuuttujiin olivat yleensä merkitsevät, mutta osittain alhaisemmat kuin IRI- ja URA-tarkasteluissa (havaintojen vähyyden vaikutti). Eniten toisistaan riippuvat muuttujaparit on esitetty taulukossa 3.

Mellakoski - Mellajärvellä tieanalyysseja tehtäessä on onnistuneesti käytetty taustamuuttuja-arvoja apuna: korkeat IRI-, URA-, SCI- ja BCI-arvot liittyivät selvästi korkeisiin tieanalyysiarvoihin, vastaavasti paksummat kerrospak-suudet (C21 ja C71) liittyivät alhaisempiin tieanalyysiarvoihin. Aineiston ko-ko myös vaikuttaa ja varmistaa tuloksia poistaen satunnaisuuden aiheutta-mia vaikutuksia, sillä lopputarkasteluissa, kun tieosat 8, 9 ja 10 yhdistettiin yhdeksi tiedostoksi, Mellakoski - Mellajärven aineisto oli selvästi suurin tar-kastelluista aineistoista.

Taulukko 3. Tieanalyysimuuttujien ja taustamuuttujien välisiä ristiintaulu-kointien tuloksia. Esitetty osa erittäin merkittävästi toisistaan riippuvista muuttujapareista, P-arvo = 0,000 kaikissa testeissä ja df = vapausasteet

Muuttujapari	Pearsonin X ² -testi-suure (df)	Tutkittu tie
routaväsyminen ja IRI	311,0 (6)	Mäntsälä - Oitti
routaväsyminen ja IRI	335,8 (6)	Mellakoski - Mellajärvi
routaväsyminen ja URA	368,8 (6)	Mellakoski - Mellajärvi
routaväsyminen ja URA	187,4 (6)	Kolari - Kurtakko
routaväsyminen ja URA	352,4 (6)	Leppälänkylä
tierakenneanalyysi ja URA	361,4 (6)	Mäntsälä - Oitti
tierakenneanalyysi ja URA	1494,3 (9)	Mellakoski - Mellajärvi
tierakenneanalyysi ja SCI (rajat 150, 200)	59,4 (4)	Mellakoski - Mellajärvi
tierakenneanalyysi ja SCI (rajat 175, 250)	59,7 (2)	Leppälänkylä
tierakenneanalyysi ja BCI (rajat 25, 45)	54,5 (4)	Mellakoski - Mellajärvi
päällysteanalyysi ja C21	197,1 (9) (pos.riipp.!)	Mellakoski - Mellajärvi
päällysteanalyysi ja C21	43,0 (6) (neg. riipp.)	Leppälänkylä
routaväsyminen ja C71	223,4 (6) (neg. riipp.)	Mellakoski - Mellajärvi
routaväsyminen ja C71	127,6 (6) (pos. riipp.!)	Leppälänkylä
tierakenneanalyysi ja C71	813,4 (9) (neg. riipp.)	Mellakoski - Mellajärvi
tierakenneanalyysi ja C71	164,9 (6) (pos.riipp.!)	Kolari - Kurtakko
routaväsyminen ja Er	68,7 (6)	Kolari - Kurtakko

5.5.2 SCI ja BCI

Koska SCI- ja BCI-arvoja oli vähemmän ja Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa tierakenneanalyysiluokassa 3 oli vain vähän havaintoja, tierakenneanalyysiluokat 2 ja 3 yhdistettiin ristiintaulukoinnissa. Tällöin tierakenneanalyysin luokiin 2 - 3 sijoittuivat lähes kaikki (92 %) havainnot SCI:n ollessa suurempi kuin 200 µm, mikä ilmentää sitä, että SCI on merkittävimpiä kriteereitä tierakenteen analyysissä. Vastaavasti tierakenneanalyysiluokassa 0 merkittävä osa (78 %) havainnoista oli sellaisia, joiden SCI oli pienempi

kuin 150 µm (taulukko 4). Leppälänkylä-aineistossa oli 57 havaintoa, joiden SCI-arvo oli yli 250 ja ne kuuluivat kaikki tierakenneanalyysin luokkaan 3. BCI:tä tarkasteltaessa selkein yhteys oli Mellakoski - Mellajärvellä, jossa tierakenneanalyysiluokassa 0 kaikkien havaintojen BCI oli pienempi kuin 25 µm. Kolari - Kurtakko -aineistossa yhteys SCI:n ja tierakenneanalyysin välillä ei ollut merkitsevä, mutta BCI:n ja tierakenneanalyysin välinen yhteys oli lähes merkitsevä.

Taulukko 4. Tierakenneanalyysimuuttujan ja SCI:n välinen ristiintaulukointi, josta laskettu Pearsonin χ^2 -testisuureen arvo 59,4 (df = 4) ja P-arvo 0,000. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi

tieraken(luok.2 ja 3 yhd) * SCI_luok3(rajat 150,200) Crosstabulation						
			SCI_luok3(rajat 150,200)			Total
			<=150	150-200	>200	
tieraken(luok.2 ja 3 yhd)	.00	Count	14	4	0	18
		Expected Count	7.7	8.6	1.7	18.0
		% of Total	5.6%	1.6%	.0%	7.1%
	1.00	Count	73	47	2	122
		Expected Count	52.3	58.1	11.6	122.0
		% of Total	29.0%	18.7%	.8%	48.4%
	2 ja 3	Count	21	69	22	112
		Expected Count	48.0	53.3	10.7	112.0
		% of Total	8.3%	27.4%	8.7%	44.4%
Total	Count		108	120	24	252
	Expected Count		108.0	120.0	24.0	252.0
	% of Total		42.9%	47.6%	9.5%	100.0%

5.5.3 IRI ja URA

IRI:n ja routaväsymisen välinen riippuvuus oli selkein Mäntsälä - Oitti -aineistossa. Routaväsymisen luokassa 1 lähes kaikkien (99 %) havaintojen IRI oli alle 5 mm/m (90 % alle 3 mm/m). Kun taas IRI oli suurempi kuin 7 mm/m, niin 80 % havainnoista kuului routaväsymisen luokkaan 3 (taulukko 5).

Ristiintaulukoinnin mukaan routaväsymisen ja URA:n välinen yhteys oli merkitsevä kaikilla tutkituilla tieosuuksilla, mutta heikoin yhteys oli Mäntsälä - Oitti -aineistossa. Muilla tutkituilla teillä routaväsymisen luokassa 3 URA oli suurempi kuin 15 mm merkittäväällä osalla havainnoista (vähintään 86 %, Kolari - Kurtakko -aineistossa peräti 94 %). Samoin tierakenneanalyysin luokassa 3 havainnot olivat URA-arvoiltaan pääasiassa yli 15 mm (paitsi Leppälänkylä-aineistossa). Erittäin selvä yhteys oli Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa: tierakenneanalyysiluokassa 0 kaikki URA-arvot olivat pienempiä kuin 15 mm ja vastaavasti luokassa 3 lähes kaikki (88 %) URA-arvot olivat suurempia kuin 15 mm (taulukko 6). Leppälänkylä-aineistossa yhteys URA:n ja tierakenneanalyysin välillä ei ollut niin selkeä, merkitsevä kylläkin: tähän vaikutti ainakin se, että Leppälänkylän paikallistiellä tierakenneanalyysi sai vain arvoja 2 ja 3.

Taulukko 5. Routaväsymisen ja IRI:n välinen ristiintaulukointi, josta laskettu Pearsonin χ^2 -testisuureen arvo 311,0 (df = 6) ja P-arvo 0,000. Mt 1471 Mäntsälä - Oitti

ROUTAVAS * IRI_luok4(rajat 3,5,7) Crosstabulation						
			IRI_luok4(rajat 3,5,7)			
			<=3	3-5	5-7	>7
ROUTAVAS	1.00	Count	517	53	6	1
		Expected Count	409.6	124.8	30.4	12.2
		% of Total	54.5%	5.6%	.6%	.1%
	2.00	Count	116	96	23	3
		Expected Count	169.0	51.5	12.6	5.0
		% of Total	12.2%	10.1%	2.4%	.3%
	3.00	Count	40	56	21	16
		Expected Count	94.4	28.8	7.0	2.8
		% of Total	4.2%	5.9%	2.2%	1.7%
Total	Count		673	205	50	20
	Expected Count		673.0	205.0	50.0	20.0
	% of Total		71.0%	21.6%	5.3%	2.1%

Taulukko 6. Tierakenneanalyysimuuttujan ja URA:n välinen ristiintaulukointi, josta laskettu Pearsonin χ^2 -testisuureen arvo 1494,3 (df = 9) ja P-arvo 0,000. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi

TIERAKEN * URA_luok4(rajat 7,15,25) Crosstabulation						
			URA_luok4(rajat 7,15,25)			
			<=7	7-15	15-25	>25
TIERAKEN	.00	Count	79	109	0	0
		Expected Count	8.8	88.4	72.2	18.6
		% of Total	3.1%	4.3%	.0%	.0%
	1.00	Count	32	820	300	15
		Expected Count	54.6	549.0	448.1	115.3
		% of Total	1.3%	32.5%	11.9%	.6%
	2.00	Count	7	244	625	177
		Expected Count	49.3	495.4	404.3	104.0
		% of Total	.3%	9.7%	24.8%	7.0%
	3.00	Count	0	13	43	57
		Expected Count	5.3	53.2	43.4	11.2
		% of Total	.0%	.5%	1.7%	2.3%
	Count		118	1186	968	249
	Expected Count		118.0	1186.0	968.0	249.0
	% of Total		4.7%	47.0%	38.4%	9.9%

5.5.4 Rakennepaksuudet

Päällysteen paksuuden ja päällysteanalyysin väliset riippuvuudet eivät olleet ristiintaulukointien mukaan suoraviivaiset. Leppälänkylä-aineistossa oli riippuvuus selkein, negatiivinen: ohuimmat päällysteet saivat huonompia päällysteanalyysiarvoja. Myös Mäntsälä - Oitti -aineistossa riippuvuus oli pääpiirteissään samansuuntainen. Kolari - Kurtakko -aineistossa ohuimmat päällysteet (≤ 45 mm) keskittyivät (82 %) lähinnä päällysteanalyysiluokkaan 2, loput 18 % sijoituivat luokkaan 3. Paksuimmat päällysteet (> 80 mm) jakaantuivat kaikkiin analyysiluokkiin eli paksu päällyste saattoi olla joko

huono tai hyvä. Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa päällysteen paksuudella ja päällysteanalyysillä oli havaittavissa positiivinen riippuvuus. Päällysteanalyysiluokassa 0 merkittävä osa havainnoista (yli 80 %) oli ohuita päällysteitä (< 60 mm), tosin useimmat ohuet päällysteet sijoittuivat päällysteanalyysiluokkiin 1 ja 2. Paksuimmista päällysteistä (> 80 mm) taas lähes 2/3 sijoittui päällysteanalyysiluokkaan 2.

Ristiintaulukoinnin perusteella vahvistui käsitys Kolari - Kurtakko -aineistossa havaitusta rakenteiden kokonaispaksuuden vaikutuksesta. Ohuimmat kerrokset olivat säilyneet sekä routaväsymisen että tierakennanalyysin mukaan suhteellisen hyvinä, koska ne sijaitsivat routimattomilla pohjamailla. Erityisesti rakenteiden kokonaispaksuuden ollessa 75 - 100 cm analyysiarvot olivat huonommat eli rakenteet eivät olleet riittävän paksut routivilla pohjamailla. Samansuuntaisia havaintoja tehtiin sekä Mellakoski - Mellajärvi- että Leppälänkylä-aineistossa routaväsymisen yhteydessä. Mellakoski - Mellajärvi -aineistossa kokonaiskerrospaksuuden ylittäessä 1 m routaväsyminen oli selvästi vähäisempää (taulukko 7) ja myös tierakenne oli analysoitu paremmaksi. Tierakennanalyysin luokassa 0 kaikki kokonaiskerrospaksuudet olivat yli 1 m, kun taas rakenteiden kokonaispaksuuden ollessa alle 75 cm tierakennanalyysiarvot keskittyivät luokkiin 2 (62 %) ja 1 (35 %) (Mellakoski - Mellajärvi).

Taulukko 7. Routaväsymisen ja rakenteiden kokonaispaksuuden (C71) välinen ristiintaulukointi, josta laskettu Pearsonin X^2 -testisuureen arvo 223,4 (df = 6) ja P-arvo 0,000. Mt 930 Mellakoski - Mellajärvi

routaväs(luok.0 ja 1 yhd) * C71_luok4(rajat 50,75,100 cm) Crosstabulation						
			C71_luok4(rajat 50,75,100 cm)			
			<=50cm	50-75	75-100	>100
routaväs(luok.0 ja 1 yhd)	0 ja 1	Count	207	385	471	579
		Expected Count	189.9	411.8	585.7	454.6
		% of Total	8.4%	15.7%	19.2%	23.6%
	2.00	Count	77	210	313	68
		Expected Count	77.2	167.5	238.3	185.0
		% of Total	3.1%	8.6%	12.7%	2.8%
	3.00	Count	0	21	92	33
		Expected Count	16.9	36.6	52.1	40.4
		% of Total	.0%	.9%	3.7%	1.3%
	Total	Count	284	616	876	680
		Expected Count	284.0	616.0	876.0	680.0
		% of Total	11.6%	25.1%	35.7%	27.7%

5.5.5 Dielektrisyys

Kolari - Kurtakko -aineistossa tarkasteltu routaväsymisen ja dielektrisyiden (Er, pohjamaa) välinen ristiintaulukointi osoitti, että jo hajontakuviossa havaittu positiivinen riippuvuus oli tilastollisesti merkitsevää. Routaväsymisen luokassa 1 Er oli alle 9 78 %:lla havainnoista. Vastaavasti, kun Er oli >16,

havainnoista yli puolet (53 %) kuului routaväsymisen luokkaan 3, 45 % havainnoista oli luokassa 2 ja vain 2 % luokassa 1.

5.6 Yhteenveto

Tutkimusaineiston mukaan routaväsyminen oli pahinta ja uraisuus suurinta Kolari - Kurtakko -tiellä. Tutkimusaineiston toisella Lapissa sijaisevalla tiellä Mellakoski - Mellajärvellä havaittiin selkeimmät riippuvuudet tie-analyysimuuttujien ja taustamuuttujien välillä. Eteläisemmän Suomen kohteissa Leppälänkylän paikallistiellä ja Mäntsälä - Oitissa olivat kantavuusmittaustulokset (sekä SCI ja BCI) selvästi korkeammat kuin kahdessa pohjoisen kohteessa. Tierakenneanalyysin mukaan tie oli huonoin Leppälänkylässä, päällysteanalyysin mukaan huonoimmaksi katsottiin Mäntsälä - Oitti - tie.

Kaikissa tilastollisissa tarkasteluissa (korrelaatiot, hajontakuviot ja ristiintaulukoinnit) havaittiin tieanalyysimuuttujien positiivinen riippuvuus tieanalyysin luokittelukriteereiden IRI:n, URA:n, SCI:n ja BCI:n kanssa. Rakennepaksuuksien (sekä päällysteen että kokonaisrakennepaksuuden) väliset yhteydet tieanalyysimuuttujien kanssa olivat useimmiten negatiiviset. Myös Kolari - Kurtakko -aineistossa tarkasteltu routaväsymisen ja pohjaan dielektrisyiden välinen positiivinen riippuvuus todettiin tilastollisesti merkitseväksi. Eli tieanalyysia tehtäessä tausta-arvoja oli käytetty apuna jokseenkin hyvin, tiekohtaisia ja muuttujakohtaisia eroja oli havaittavissa. Kaikissa tutkimuskohteissa muuttujien väliset yhteydet olivat pääpiirteissään samansuuntaiset, mutta riippuvuuksissa oli jonkin verran voimakkuuseroja. Osaltaan tutkimustuloksiin vaikutti myös se, että kunkin tieanalyysin oli tehnyt eri henkilö.

Korrelaatiodiagrammeissa havaittu suuri hajonta samoin kuin hajontakuvioiden havaitut taustamuuttujien suuret vaihteluvälit tieanalyysimuuttujien eri luokissa kuvaavat sitä, että tieanalyysia tehtäessä analyysiarvot annetaan tietylle tiejaksolle. Jokaista tiemetriä ei voi analysoida erikseen, eikä tieanalyysiarvoa voi muuttaa yksittäisten poikkeavien arvojen, esim. URA-arvojen, vuoksi.

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-545-X
TIEL 3200569